



POLITEKNIK NEGERI BALI

*matrix*X

JURNAL MANAJEMEN TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA



Editors

Editor-in-chief :

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

Editorial Boards :

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

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

Dr. Anak Agung Ngurah Gde Saptaka (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).

I Wayan Suasnawa, ST, MT (Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali).

Elvira Septevany, SS, MLI (Pariwisata, 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 Pembangunan Nasional Jakarta).

Dr. Dewi Yanti Liliana (Teknik Informatika, Politeknik Negeri Jakarta).

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

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

I Dewa Made Cipta Santosa, PhD (Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali).

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadapan Tuhan Yang Maha Esa atas terbitnya Jurnal Matrix Volume 9, Nomor 3, Tahun 2019. Adapun artikel ilmiah yang dipublikasikan pada edisi ini ditulis oleh peneliti dari Politeknik Negeri Bali dan STIMIK STIKOM Indonesia. Di bidang manajemen teknologi ditampilkan artikel ilmiah mengenai Analisis Teknis-Ekonomis Retrofit Lampu Penerangan Jalan Raya Gatot Subroto-Denpasar, Sistem Proteksi Terhadap Gangguan Petir Pada Stasiun Pemancar TV, serta artikel ilmiah mengenai Pengaruh Penggunaan Pendingin Air Terhadap Output Panel Surya Pada Sistem Tertutup. Di bidang manajemen informatika ditampilkan artikel ilmiah mengenai Pengembangan Aplikasi Internet Banking Koperasi Simpan Pinjam Berbasis Web serta artikel ilmiah mengenai Analisis Perbandingan Metode Elbow dan Silhouette pada Algoritma Clustering K-Medoids dalam Pengelompokan Produksi Kerajinan Bali.

Kami sampaikan juga bahwa telah dilakukan penyempurnaan di bidang manajemen dengan menyertakan Bapak I Wayan Suasnawa, ST, MT dan Ibu Elvira Septevany, SS, MLI sebagai editor. Hal ini dilakukan untuk menyiapkan suksesi manajemen Jurnal Matrix pada edisi berikutnya.

Akhir kata, kami menyampaikan terima kasih kepada para reviewer dari Politeknik Negeri Jakarta, Universitas Pembangunan Nasional Jakarta, Politeknik Negeri Semarang, Universitas Hasanuddin dan Politeknik Negeri Bali 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 November 2019

Editor-in-chief Jurnal Matrix

I Gusti Ngurah Agung Dwijaya Saputra, PhD

ISSN: 2580-5630



9 772580 563008

DOAJ
DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

Google
Scholar



sinta
Science and Technology Index

Crossref

Daftar Isi

Ni Made Karmiathi, I Gusti Putu Mastawan Eka Putra, Ni Wayan Wisswani Analisis Teknis-Ekonomis Retrofit Lampu Penerangan Jalan Raya Gatot Subroto-Denpasar	83-88
I G P Fajar Pranadi Sudhana, I Ketut Suwintana, Ayu Dwi Yulianthi, I Gusti Agung Oka Sudiadnyani Pengembangan Aplikasi Internet Banking Koperasi Simpan Pinjam Berbasis Web	89-95
I Gede Suputra Widharma, I Nengah Sunaya, I Gusti Putu Arka, I Gde Nyoman Sangka Sistem Proteksi Terhadap Gangguan Petir Pada Stasiun Pemancar TV	96-101
Dewa Ayu Indah Cahya Dewi, Dewa Ayu Kadek Pramita Analisis Perbandingan Metode Elbow dan Silhouette pada Algoritma Clustering K-Medoids dalam Pengelompokan Produksi Kerajinan Bali	102-109
Ida Bagus Gde Widiantera, Nyoman Sugiarta Pengaruh Penggunaan Pendingin Air Terhadap Output Panel Surya Pada Sistem Tertutup	110-115

Analisis Teknis-Ekonomis Retrofit Lampu Penerangan Jalan Raya Gatot Subroto-Denpasar

Ni Made Karmiathi[✉], I Gusti Putu Mastawan Eka Putra, Ni Wayan Wisswani

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali

[✉]made.karmiathi@pnb.ac.id

Abstrak: Pada tahun 2017, Lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU) di seluruh Indonesia telah berjumlah 225.249 unit, yang sebagian besar masih menggunakan lampu penerangan berteknologi lama dan tidak efisien sehingga mengonsumsi energi listrik yang sangat besar yakni 3.503,47 GWh/tahun. Untuk itu sangat mendesak diperlukan usaha penghematan energi listrik di sektor LPJU. Guna mendukung upaya ini maka dalam penelitian ini dilakukan analisis teknis dan ekonomis untuk menguji kelayakan proyek *retrofit/* penggantian LPJU di Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar dari Lampu Merkuri 250 W menjadi Lampu LED 93 W. Pada akhir studi diperoleh bahwa proyek *retrofit* ini layak secara teknis karena mampu menghasilkan kuat pencahayaan rata-rata 13 Lux (dibandingkan syarat SNI lebih dari 11 Lux) dan penghematan konsumsi energi listrik 157,65 MWh/tahun serta layak secara ekonomis karena memenuhi kriteria kelayakan investasi *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI) dan *Discounted Payback Period* (DPP).

Kata kunci: LPJU, retrofit, lampu LED, NPV, PI, DPP.

Abstract: In 2017, PSL (Public Street Lighting) in Indonesia has reached 225,249 units, That are still dominantly using old technology lighting and inefficient so it consume very large electricity energy, which are 3,503.47 GWh/year. Therefore, effort of electricity saving in the PSL sector is needed urgently. In order to support this effort, in this study a technical and economic analysis are carried out to evaluate the feasibility of the PSL retrofit project on Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar which replace 250 W Mercury Lights into 93 W LED Lights. At the end of the study, it is found that, this retrofit project is technically feasible because it is able to produce 13 Lux average illumination (greater than SNI requirement 11 Lux) and 157.65 MWh/year of electrical energy savings and economically feasible because it meet the investment feasibility technique criterias of Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI) and Discounted Payback Period (DPP).

Keywords: PSL, retrofit, LED Light, NPV, PI, DPP.

I. PENDAHULUAN

Lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU) mempunyai peranan sangat vital dalam mendukung keamanan dan kenyamanan di jalan raya. Hal ini disebabkan karena LPJU berfungsi untuk menghasilkan kekontrasan antara obyek dan permukaan jalan, sebagai alat bantu navigasi pengguna jalan; meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, khususnya pada malam hari, mendukung keamanan lingkungan dan memberikan keindahan lingkungan jalan [1].

Oleh karena perannya yang sangat vital maka kebutuhan terhadap keberadaan LPJU semakin tinggi seiring dengan meningkatnya pertumbuhan infrastruktur jalan raya. Pertumbuhan ini juga diikuti oleh semakin meningkatnya konsumsi energi LPJU. Pada akhir tahun 2017 di seluruh Indonesia telah terpasang 225.249 Sistem LPJU (tumbuh 77,3% dibandingkan tahun 2010) yang mengonsumsi energi listrik 3.503,47 GWh [2] serta menyerap anggaran untuk biaya listrik yang sangat besar yakni Rp. 5,14 triliun/tahun. Kondisi serupa juga terjadi di wilayah Propinsi Bali. Pada tahun 2017, Bali telah memiliki 5.194 Sistem LPJU (tumbuh 52,5% dibandingkan tahun 2010) serta mengonsumsi energi listrik sebesar 69,31 GWh [2] yang setara dengan penyerapan dana

APBD sebesar Rp. 101,7 milyar/tahun (dihitung menggunakan Tarif Dasar Listrik 2017).

Selain menyerap anggaran yang cukup besar, LPJU juga berkontribusi terhadap emisi salah satu gas rumah kaca (GRK) yang menyebabkan pemanasan global. Dengan menggunakan *grid emission factor* untuk Indonesia tahun 2016 sebesar 0,851 kg CO₂/kWh [3] maka konsumsi energi listrik LPJU secara Nasional dan Bali, masing-masing menyumbang emisi CO₂ ke udara sebesar 2,98 juta ton dan 58,98 ribu ton per tahun yang berkontribusi terhadap perubahan iklim bumi yang tidak bisa diabaikan.

Data di atas menunjukkan bahwa bahwa LPJU merupakan pengonsumsi energi dan penyerap anggaran serta penyumbang emisi GRK yang cukup besar. Besarnya konsumsi energi dan emisi LPJU antara lain disebabkan karena sebagian besar masih menggunakan teknologi lama yang cenderung tidak efisien serta memiliki umur pakai yang singkat [4].

Oleh karena itu guna melakukan penghematan energi serta mendukung komitmen pemerintah untuk mengurangi gas rumah kaca pada tahun 2020 sebesar 26% (melalui upaya sendiri) dan 41% (apabila mendapatkan dukungan internasional) [4], maka diperlukan adanya upaya penelitian dan pengembangan pada sektor LPJU.

Menurut studi yang dilakukan oleh Pusat Litbang Teknologi Ketenagalistrikan dan EBTKE – KESDM menyimpulkan bahwa penerapan teknologi penerangan jalan yang efisien mampu menghemat konsumsi energi 30-70% [5].

Teknologi LPJU yang efisien dan ramah lingkungan bisa diperoleh dengan menggunakan lampu hemat energi dan penggunaan sumber energi terbarukan ramah lingkungan sebagai catu dayanya [6]. Kemajuan teknologi lampu penerangan hemat energi telah menghasilkan banyak jenis lampu baru untuk penerangan jalan. Teknologi penerangan yang paling menjanjikan untuk penerangan jalan raya sebagai pengganti sistem pencahayaan sodium tekanan tinggi (*high pressure sodium*) saat ini antara lain lampu LED (*light emitting diode*), induksi, plasma, dan sistem pencahayaan *metal halide* (MH) [7]. Di antara jenis-jenis lampu penerangan tersebut, Lampu LED paling populer karena memiliki *luminous efficacy* 70-160 Lm/Watt, *life time* 40.000-90.000 Jam, kuat pencahayaan yang seragam, mengurangi silau dan meningkatkan kenyamanan mata dan kemampuan diskriminasi visual pengemudi kendaraan [8].

Sementara itu, kemungkinan menggunakan sumber energi terbarukan tergantung pada ketersediaannya di lokasi tersebut. Di antara semua jenis sumber energi terbarukan di negara ini, listrik tenaga surya memiliki potensi besar dan telah mulai banyak digunakan sebagai catu daya pada berbagai aplikasi industri maupun rumah tangga. Keuntungan dari energi surya antara lain: ketersediaannya yang kesinambungan (*sustainability*), bersih tanpa polusi, kemudahan perawatan dan tanpa kebisingan sama sekali [9]. Pemanfaatan tenaga surya sebagai catu daya LPJU diharapkan dapat mendukung pencapaian target pemanfaatan energi baru dan terbarukan sebesar 23% dalam bauran energi nasional pada tahun 2025 [10]. Sekalipun pemanfaatan tenaga surya sebagai catu daya LPJU sangat menjanjikan, namun untuk kondisi saat ini masih memiliki kelemahan yakni efisiensinya yang masih relatif rendah serta biaya investasi awal terutama untuk biaya panel surya dan baterai.

Guna mendukung percepatan penghematan energi di sektor penerangan jalan umum, maka dalam paper ini dilakukan penelitian tentang penghematan energi pada LPJU yang terpasang di sepanjang Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar.

Sekalipun untuk melakukan penghematan energi pada LPJU bisa dilakukan melalui penggunaan lampu hemat energi dan/ atau penggunaan sumber energi terbarukan sebagai catu daya, namun mempertimbangkan hasil penelitian sebelumnya yang menyimpulkan bahwa lampu penerangan tenaga surya tidak layak dari kajian investasi dan biaya energinya 3,9 kali lebih mahal dibandingkan tarif dasar listrik PLN yang antara lain disebabkan oleh mahalnya harga panel surya dan baterai [6], maka dalam penelitian ini dipilih opsi hanya melakukan penggantian lampu yang disebut *retrofit*. *Retrofit* yang dimaksud dalam penelitian ini adalah penggantian lama (jenis merkuri) menjadi

lampu hemat energi LED, sedangkan komponen lainnya tetap menggunakan komponen semula seperti tiang lampu dan lengannya serta catu dayanya tetap dari jaringan PLN. Dari aspek ini *retrofit* merupakan upaya penghematan yang tercepat, termudah dan termurah.

Untuk mengetahui apakah *retrofit* LPJU Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar ini layak atau tidak, maka dalam penelitian ini akan dilakukan analisis atau evaluasi teknis melalui kalkulasi manual dan verifikasi menggunakan bantuan perangkat lunak serta analisis secara ekonomi menggunakan teknik kelayakan investasi *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI) dan *Discounted Pay Back Period* (DPP).

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada LPJU di Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar mulai Bulan Nopember 2018 hingga Bulan April 2019. Pengumpulan data pendukung didapatkan melalui observasi lapangan, *review* terhadap literatur yang relevan dan *interview* dengan dinas/instansi pemerintah terkait. Sedangkan metodologi yang digunakan dalam studi penelitian ini antara lain: Melakukan *review* terhadap spesifikasi LPJU *existing* sesuai dengan SNI dan literatur terkait, melakukan analisis/ evaluasi teknis terhadap lampu pengganti (*retrofit*) hemat energi yang memenuhi syarat, melalui penentuan *initial flux*, penentuan *type* lampu dan kapasitasnya secara manual kemudian diverifikasi menggunakan perangkat lunak Dialux, analisis konservasi energi dan lingkungan, analisis ekonomi/ kelayakan investasi dan penyusunan kesimpulan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Teknis LPJU Jalan Raya Gatot Subroto

Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar menghubungkan Simpang Perempatan Tohpati (-8,639°, 115,254°) dengan Simpang Pertigaan Kerobokan (-8,637°, 115,175°) sepanjang 9,17 Km dengan lebar jalan 11 m. Jalan raya ini termasuk katagori jalan arteri. Pada jalan ini telah terpasang LPJU (Lampu Penerangan Jalan Umum) jenis Merkuri 250 W yang terpasang pada tiang lampu setinggi 10 m, panjang lengan 3,5 m dan sudut kemiringan 10°, yang terpasang pada salah satu sisi jalan raya dengan jarak antar tiang 40 m sebanyak 229 Unit. LPJU ini beroperasi selama 12 jam per hari mulai pukul 18.00-06.00 Wita.

B. Analisis Teknis

1. Penentuan *Initial flux* dan Kapasitas Lampu

Untuk memenuhi persyaratan minimal rata-rata iluminasi dari lampu penerangan jalan, maka perlu dihitung besar *initial flux* yang diperlukan [11]. Besar *initial flux* bisa dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\phi = \frac{E_{ave} \times P_s \times W_R}{C_U \times M_F} \quad (1)$$

dengan

- E_{ave} , iluminasi rata-rata minimum. Sesuai SNI, iluminasi rata-rata LPJU untuk jalan arteri adalah 11-20 Lux [1]. Pada proyek ini ditentukan sebesar 11 Lux.
- P_s , jarak antar tiang lampu penerangan jalan existing, yakni 40 m.
- W_R , lebar jalan existing sebesar 11 m.
- M_F , adalah *maintenance factor* yang dihitung dengan Persamaan (2).

$$M_F = LLD \times LDD \tag{2}$$

LLD (*Lamp Lumens Depreciation*) untuk lampu LED adalah 0,7 [12], sedangkan LDD (*Luminaire Dirt Depreciation*) adalah 0,9 (untuk jalan dengan lalu lintas menengah sampai padat, kondisi lingkungan cukup bersih serta lama paparan terhadap debu tanpa pembersihan lampu maksimal selama 3 tahun) [13], maka menurut Persamaan (2), $M_F = 0,7 \times 0,9 = 0,63$.

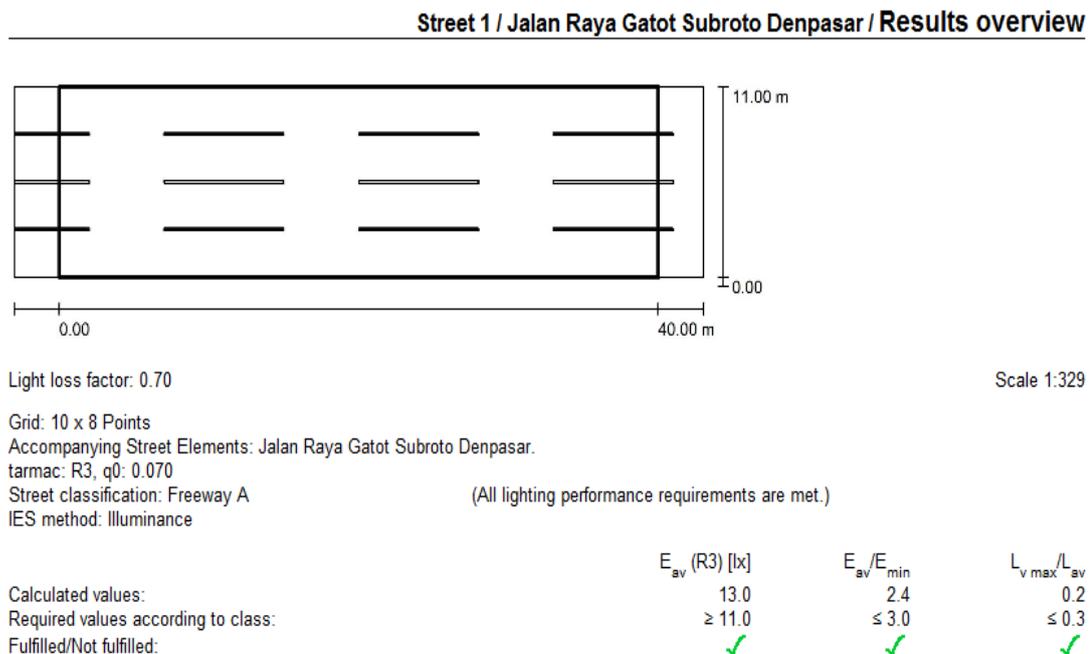
- C_U , koefisien utilisasi yang diperoleh dari Kurva Faktor Utilisasi dari lampu berdasarkan besaran rasio antara lebar jalan (W_R) terhadap tinggi tiang lampu (H). Tinggi tiang lampu (H) ditentukan 10-m, sedangkan lebar jalan (W_R) 11 m, sehingga $W_R/H = 1,1$. Dengan menggunakan Kurva Faktor Utilisasi pada [14] apabila lampu yang digunakan adalah Philips LED (type BGP323 T50 1xGRN125-3S/657 DC) maka C_U didapatkan sebesar 0,6.

Apabila semua nilai dari variabel di atas dimasukkan ke Persamaan (1), maka besar *initial flux* dari lampu yang akan digunakan, $\phi = 12,804$

lumens. Dengan menggunakan Philips Concern Photometric Database 2018-12-04 [14], bisa dipilih lampu LED yang mempunyai *initial flux* > 12,804 lumens dengan daya terendah yakni type BGP323 T50 1xGRN125-3S/657 DC, yang mempunyai intial flux 13,100 lumens dan daya 93 Watt.

2. Verifikasi Menggunakan Aplikasi DIALux
 Dengan menggunakan *software* aplikasi DIALux 4.13 [15], dapat dilakukan verifikasi apakah *project retrofit* lampu penerangan jalan menggunakan Philips Led BGP323 T50 1xGRN125-3S/657 DC, 93W bisa memenuhi persyaratan SNI untuk Jalan rRaya Gatot Subroto dengan lebar jalan 11 meter, yakni mempunyai iluminasi rata-rata, $E_{ave} = 11$ Lux.
 Berdasarkan hasil kalkulasi menggunakan aplikasi DIALux 4.13 dengan variabel dijaga tetap untuk tinggi tiang lampu (10 m), panjang lengan (3,5 m) dan sudut kemiringan lengan lampu (10 derajat), jarak antar tiang lampu (40 m) serta posisi tiang lampu yang sama (pada satu sisi dari jalan raya) maka diperoleh keluaran: semua unjuk kerja penerangan jalan terpenuhi, yakni $E_{ave} = 13$ Lux (≥ 11 Lux) dan $E_{ave} / E_{min} \leq 3.0$ seperti ditunjukkan oleh Gambar 1.

Dengan demikian bisa disimpulkan bahwa Philips Led BGP323 T50 1xGRN125-3S/657 DC, 93 W memenuhi syarat secara teknis untuk digunakan sebagai pengganti (*retrofit*) lampu penerangan jalan existing.



Gambar 1. Hasil keluaran *software* DIALux 4.13 untuk *retrofit* LPJU Jalan Raya Gatot Subroto.

C. Analisis Konservasi Energi dan Lingkungan

Sesuai data teknis lampu penerangan jalan existing, jenis lampu yang digunakan adalah lampu merkuri dengan daya 250 W, sedangkan sesuai hasil kalkulasi pada bagian sebelumnya diperoleh bahwa jenis lampu pengganti adalah type LED dengan daya 93 W, sehingga terjadi penghematan daya listrik, *electricity power saving*, *EPS* sebesar: $250\text{ W} - 93\text{ W} = 157\text{ W}$ atau terjadi penghematan daya sebesar 63 %. Sedangkan penghematan energi listrik, *electricity energy saving*, *EES* per tahun bisa dihitung dengan Persamaan (3).

$$EES = EPS \times \text{Jumlah Lampu} \times \text{Waktu Operasi Per Hari} \times \text{Jumlah Hari} \quad (3)$$

dalam 1 tahun.

Dengan memasukkan $EPS = 157\text{ W}$, jumlah lampu = 229 buah, waktu operasi 12 jam/hari dan jumlah hari per tahun 365 hari ke dalam Persamaan (3), maka *EES* yang diperoleh 157.646,06 Kwh. Penghematan energi listrik ini setara dengan penghematan biaya listrik sebesar Rp. 231.310.903,58/tahun (dihitung dengan menggunakan Tarif Dasar Listrik PLN Golongan Tarif P-3/TR Bulan Januari-Maret 2019, yakni Rp. 1.467,28 /kWh [13]).

Penghematan energi listrik pada *project retrofit* ini juga berdampak terhadap berkurangnya emisi gas CO₂ ke udara. Dengan menggunakan *grid emission factor* untuk Indonesia tahun 2016 sebesar 0,851 kg CO₂/kWh [14] maka emisi karbon yang dapat dikurangi dengan implementasi proyek *retrofit* ini sebesar 134,16 ton CO₂/ tahun.

Jika penurunan emisi karbon ini dijual melalui mekanisme ETS (*emission trading system*) dengan tarif efektif 30 Euro/ton [15] dan dengan nilai tukar (kurs) Euro terhadap Rupiah, Rp. 14,408.45/Euro [16], maka diperoleh nilai jual pengurangan emisi gas karbon sebesar Rp. 57.989.743,24/tahun.

D. Analisis Kelayakan Investasi

Teknik analisis kelayakan investasi proyek *retrofit* ini adalah *Present Net Value* (NPV), *Profitability Index* (PI) dan *Discounted Pay Back Period* (DPP).

1. Net Present Value (NPV)

NPV dari *project* ini dapat dihitung menggunakan Persamaan [17]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n PVNCF_t - C \quad (4)$$

dengan

- $PVNCF_t$, nilai sekarang arus kas bersih (*present value net cash flow*) dari *project* ini.
- t , adalah umur *project* dari tahun ke-1 sampai tahun ke- n . Dalam *project* ini n sama dengan umur dari Lampu LED, yakni 50.000 jam atau 11 tahun.

- C , *capital expenditure* nilai investasi awal dari *project* ini, yakni sebesar Rp. 1.362.550.000 seperti ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Biaya investasi *project retrofit*.

No	Komponen	Jumlah	Satuan	Total Harga (Rp)
1	Lampu PHILIPS BGP 323 T50 1x GRN125-3S/657 DC, 93 W, Lifetime>50.000 Jam.	229	Unit	961.800.000
2	Kabel Power 3 x 2,5 mm NYHYH & Aksesoris.	229	Set	125.950.000
3	Jasa Instalasi	229	Lot	274.000.000
Total Biaya				1.362.550.000

Teknik analisis kelayakan investasi NPV mempunyai kriteria sebagai berikut: investasi dianggap layak, jika $NPV > 0$ dan investasi dianggap tidak layak, jika $NPV < 0$.

Sementara itu, $PVNCF_t$, Nilai Sekarang Arus Kas Bersih (*present value net cash flow*), bisa diperoleh dari Persamaan [17]:

$$PVNCF_t = NCF_t \times DF_t \quad (5)$$

dengan

- NCF_t , (*net cash flow*), adalah Arus Kas Bersih dari tahun pertama sampai tahun ke- t .
- DF_t , discount factor atau faktor diskonto.

Arus Kas Bersih, NCF_t , diperoleh dengan cara mengurangkan Kas Masuk (*Cash-In*) dengan Kas Keluar (*Cash-Out*):

$$NCF_t = (Cash-In)_t - (Cash-out)_t \quad (6)$$

Cash-In, Arus Kas Masuk ke *project* ini terdiri dari 2 bagian (a) *EES*, penghematan energi listrik dan (b) Hasil penjualan pengurangan emisi karbon dari *project* ini, yang telah dihitung pada bagian 3.3.1 dan 3.3.2 masing-masing sebesar Rp. 231.310.903,58/thn dan Rp. 57.989.743,24/thn.

Cash-Out, Arus Kas Keluar dari *project* ini hanya terdiri biaya pemeliharaan *maintenance*, M antara lain pembersihan *armature* lampu LED untuk menjaga nilai LDD (*Luminaire Dirt Depreciation*) pada angka 0,9. Biaya pemeliharaan diasumsikan sebesar 1% [17] dari biaya investasi yakni sebesar Rp. 136.255.000/tahun.

DF_t , *discount factor* atau faktor diskonto [17] dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 7.

$$DF_t = \frac{1}{(1+d)^t} \quad (7)$$

dengan

- d adalah suku bunga pinjaman, ditentukan sama dengan 9,95% berdasarkan Suku Bunga Dasar Kredit (SBDK) Akhir Pebruari 2019 untuk suku bunga dasar kredit bank-bank BUMN [18].
- t , adalah umur *project* dari tahun ke-1 sampai tahun ke- n . Dalam *project* ini n sama dengan umur dari Lampu LED, yakni 50.000 Jam atau 11 tahun.

Apabila Biaya Investasi (C), Arus Kas Masuk berupa Penghematan Biaya Energi Listrik dan Hasil Penjualan Penurunan Emisi Karbon; Arus Kas Keluar; Arus Kas Bersih NCF_t (Persamaan 6); Faktor Diskonto, DF_t (Persamaan 7) dan Nilai Sekarang Arus Kas Bersih, $PVNCF_t$ (Persamaan 5) dihitung dari tahun ke-1 sampai tahun ke-11, maka bisa ditabulasikan seperti ditunjukkan oleh Tabel 2. Berdasarkan tabel ini, bisa diperoleh bahwa Akumulasi Nilai Sekarang Arus Kas Bersih, $\sum NCF_t \times DF_t = \text{Rp. } 1.794.655.851$. Sehingga dengan memasukkan nilai ini dan nilai investasi C ke Persamaan 4, diperoleh $NPV = \text{Rp. } 432.105.850,81$. Oleh karena NPV bernilai positif (>0), maka sesuai kriteria NPV , proyek retrofit LPJU ini dinilai layak/ *feasible*.

2. Profitability Index (PI)

Analisis teknik kelayakan investasi *Profitability Index* (PI) [17] dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 8.

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n PVNCF_t}{C} \quad (8)$$

Dengan kriteria: jika $PI > 1$ maka investasi dianggap layak/ *feasible*, sedangkan jika $PI < 1$, investasi dianggap tidak layak/ *not feasible*.

Apabila nilai Akumulasi Nilai Sekarang Arus Kas Bersih, $\sum NCF_t \times DF_t$ dan nilai investasi C dimasukkan ke Persamaan 8, diperoleh $PI = 1,317$. Oleh karena nilai $PI > 1$, sesuai kriteria PI , maka *project retrofit* LPJU ini dinilai layak/ *feasible*.

3. Discounted Payback Period (DPP)

Payback Period adalah lamanya periode waktu yang dibutuhkan oleh suatu proyek untuk mengembalikan biaya investasi. Sedangkan *Discounted Payback Period* adalah periode pengembalian nilai investasi yang didiskontokan yang mana dihitung lamanya waktu yang dibutuhkan oleh akumulasi Nilai Sekarang Arus Kas Bersih ($PVNCF$) bernilai sama dengan biaya investasi awal (C).

Kriteria layak tidaknya suatu proyek berdasarkan DPP adalah: apabila DPP lebih pendek dari umur proyek maka investasi dianggap layak, sedangkan jika DPP lebih panjang dari umur proyek maka investasi dianggap tidak layak.

Sesuai yang ditampilkan pada Tabel 2, bahwa pada tahun ke-7, Akumulasi Nilai Sekarang Arus Kas Bersih ($\sum NCF_t \times DF_t$) sebesar Rp. 1.344.314.292 mendekati Nilai Investasi C sebesar Rp. 1.362.550.000 dengan selisih sebesar -Rp. 18.235.708,46. Sedangkan pada tahun ke-8, Nilai Sekarang Arus Kas Bersih ($PVNCF$) sebesar Rp. 129.073.101, maka untuk menutupi selisih terhadap Nilai Investasi sebesar -Rp.18.235.708,46 tersebut diperlukan waktu selama 0,14 tahun atau 1,7 bulan (Rp. 18.235.708,46 dibagi Rp. 129.073.101).

Jadi DPP proyek ini adalah 7 tahun 2 bulan (dibulatkan). Oleh karena DPP lebih pendek dari umur proyek (11 tahun) maka sesuai kriteria DPP, proyek ini dianggap layak/ *feasible*.

Tabel 2. Hasil perhitungan NCF, DF dan PVNCF untuk project retrofit LPJU dengan $i = 9,95\%$.

Tahun Ke	Biaya Investasi, C (Rp)	Arus Kas Masuk (Rp)		Arus Kas Keluar (Rp)	Arus Kas Bersih, NCF _t (Rp)	Discount Factor, DF _t	PVNCF _t = NCF _t *DF _t (Rp)	Akumulasi, $\sum NCF_t * DF_t$ (Rp)
		Penghematan Biaya Listrik	Penjualan Emisi Karbon	Biaya Pemeliharaan				
0	1,362,550,000	0	0	0	0	1,0000	0	0
1	0	231,310,904	57,989,743	13,625,500	275,675,147	0,9095	250,727,737	250,727,737
2	0	231,310,904	57,989,743	13,625,500	275,675,147	0,8272	228,037,960	478,765,697
3	0	231,310,904	57,989,743	13,625,500	275,675,147	0,7523	207,401,510	686,167,207
4	0	231,310,904	57,989,743	13,625,500	275,675,147	0,6843	188,632,569	874,799,776
5	0	231,310,904	57,989,743	13,625,500	275,675,147	0,6223	171,562,137	1,046,361,912
6	0	231,310,904	57,989,743	13,625,500	275,675,147	0,5660	156,036,504	1,202,398,417
7	0	231,310,904	57,989,743	13,625,500	275,675,147	0,5148	141,915,875	1,344,314,292
8	0	231,310,904	57,989,743	13,625,500	275,675,147	0,4682	129,073,101	1,473,387,393
9	0	231,310,904	57,989,743	13,625,500	275,675,147	0,4258	117,392,543	1,590,779,936
10	0	231,310,904	57,989,743	13,625,500	275,675,147	0,3873	106,769,025	1,697,548,961
11	0	231,310,904	57,989,743	13,625,500	275,675,147	0,3523	97,106,890	1,794,655,851
Akumulasi $\sum NCF_t * DF_t$:							1,794,655,851	

IV. KESIMPULAN

Sesuai hasil analisis teknis, lampu hemat energi LED 93W (Philips BGP323 T50 1xGRN125-3S/657 DC) yang dipasang pada tiang lampu saat ini (*existing*) setinggi 10 m, panjang lengan 3,5 m dan sudut kemiringan 10°, yang ditempatkan pada salah satu sisi jalan dengan jarak antar tiang 40 m, ternyata memenuhi syarat untuk mengganti lampu Merkuri 250 W sebagai LPJU Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar yang mempunyai panjang dan lebar jalan masing-masing 9,17 Km dan 11 m, terbukti mampu menghasilkan iluminasi rata-rata 13,0 Lux (lebih besar dari persyaratan SNI untuk jalan arteri ≥ 11 Lux).

Keuntungan yang diperoleh dari proyek *retrofit* ini antara lain diperoleh penghematan energi listrik sebesar 157.646,06 Kwh/tahun setara dengan Rp. 231.310.903,58 dan penurunan emisi karbon ke udara sebesar 134,16 ton CO₂/tahun setara dengan Rp. 57.989.743,24.

Sedangkan berdasarkan analisis kelayakan investasi diperoleh NPV sebesar Rp. 432.105.850,81 (NPV>0), PI sebesar 1,317 (PI>1) dan DPP selama 7 tahun dan 2 bulan (lebih pendek dari umur proyek 11 tahun), maka sesuai kriteria bahwa proyek ini layak/*feasible*.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa proyek *retrofit* LPJU Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar ini layak/*feasible* baik secara teknis maupun ekonomi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Pimpinan dan Staff Dinas Perhubungan Kota Denpasar atas ijin melakukan penelitian dan data-data yang diberikan pada obyek penelitian di Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BSN, *SNI 7391:2008 Spesifikasi Penerangan Jalan di Kawasan Perkotaan*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2008.
- [2] Ditjen Ketenagalistrikan KESDM, *Statistik Ketenagalistrikan 2017*, Jakarta: Ditjen Ketenagalistrikan KESDM, 2018.
- [3] PT. PLN, *Electricity Energy Business Plan of PT. PLN (Persero) Year 2016-2025*, Jakarta: PT. PLN, 2015.
- [4] Ditjen EBTKE, *Buku Pedoman: Efisiensi Energi Pencahayaan Jalan Umum, Buku 1 Pengelolaan Sistem PJU Energi Efisien*, Jakarta: Ditjen EBTKE KESDM, 2013.
- [5] Ditjen EBTKE, *Buku Pedoman Efisiensi Energi Pencahayaan Jalan Umum, BUKU II: Perencanaan Sistem PJU Efisien Energi*, Jakarta: Ditjen EBTKE-KESDM, 2014.
- [6] N. Karmiathi, I. Kumara, W. Ariastina and I. Gunarta, "Techno-economic analysis of solar-powered lighting of bali above seawater toll-road," *J. TELKOMNIKA*, vol. 16, no. 5, pp. 232018.
- [7] Y. Jiang, S. Li, B. Guan and G. Zhao, "Cost-effectiveness of new roadway lighting systems," *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 2, no. 3, 2015.
- [8] N. Aung and Z. Myint, "Design of stand-alone solar street lighting system with LED," *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, vol. 3, no. 17, 2014.
- [9] A. Jusoh, T. Sutikno, T. Guan and S. Mekhilef, "A review on favourable maximum power point tracking systems in solar energy application," *Journal TELKOMNIKA*, vol. 12, no. 1, 2014.
- [10] I. B. K. Sugirianta and I. G. N. A. D. Saputra, "Modul praktek PLTS on-grid berbasis micro inverter," *Journal Matrix*, vol. 9, no. 1, 2019.
- [11] M. Sandiogo, "Road lighting, lighting Saudi Arabia roads," in *IIEE-CRCSA 5th Technical Seminar-White Palace Hotel*, 2013.
- [12] M. Royer, "Lumen maintenance and light loss factors: consequences of current design practices for LEDs," *Leukos*, vol. 10, 2014.
- [13] R. Kauffman, *Calculating Light Loss Factors for LED Street Lighting Systems*, USA: Municipal Solid-State Street Lighting Consortium.
- [14] Philips, *Luminaire Selection – Philips Concern Photometric Database 2018-12-04*, 2018.
- [15] U. Pont, *DIALux - Tutorial*, 2014.
- [16] PT. PLN, *Penetapan Penyesuaian Tarif (Tariff Adjustment) Bulan Januari-Maret 2019*, Jakarta: PT. PLN (Persero), 2019.
- [17] PT. PLN, *Electricity Energy Business Plan of PT. PLN (Persero) Year 2016-2025*, Jakarta: PT. PLN, 2015.
- [18] OECD, *Effective Carbon Rates: Pricing CO2 through Taxes and Emissions Trading Systems*, Paris: OECD Publishing, 2016.

Pengembangan Aplikasi Internet Banking Koperasi Simpan Pinjam Berbasis Web

I G P Fajar Pranadi Sudhana¹✉, I Ketut Suwintana², Ayu Dwi Yulianthi¹,
I Gusti Agung Oka Sudiadnyani²

¹Jurusan Pariwisata, Politeknik Negeri Bali

²Jurusan Akuntansi, Politeknik Negeri Bali

✉fpranadi@pnb.ac.id

Abstrak: Internet memiliki dampak positif dan peranan penting dalam kehidupan sehari-hari, tidak hanya bagi masyarakat tetapi juga untuk dunia UMKM dan koperasi. Koperasi membutuhkan inovasi dan penguasaan terhadap teknologi informasi jika ingin bertahan dan bersaing di era digital sekarang ini, salah satunya dengan mengimplementasikan aplikasi internet banking. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan Aplikasi Internet Banking Koperasi Simpan Pinjam Berbasis Web yang dapat diakses melalui jaringan internet dengan biaya infrastruktur IT yang lebih terjangkau. Aplikasi ini memanfaatkan layanan web hosting yang banyak tersedia untuk mereplikasi database koperasi. Metode yang digunakan adalah *System Development Life Cycle* (SDLC) melalui pendekatan air terjun (*waterfall approach*), yang meliputi: (1) *system engineering*, (2) *analysis*, (3) *design*, (4) *coding*, (5) *testing*, dan (6) *maintenance*. Fasilitas yang ada dalam Aplikasi internet banking koperasi simpan pinjam meliputi laporan mutasi pinjaman, mutasi simpanan sukarela, mutasi simpanan pokok, mutasi simpanan berjangka, dan simulasi pinjaman dengan berbagai jenis bunga pinjaman. Berdasarkan pengujian aplikasi yang dilakukan dengan Metode *Black Box Testing*, semua fungsional aplikasi telah berjalan dengan baik dan saat ini sudah berhasil dioperasikan.

Kata kunci: *web, internet banking, koperasi simpan pinjam, aplikasi internet*

Abstract: *The Internet has a positive impact and important role in everyday life, not only for the community but also for the world of SMEs and Koperasi. Koperasi require innovation and mastery of information technology if they want to survive and compete in today's digital era, one of them by implementing internet banking application. The purpose of this research is to develop Web-Based Internet Banking Application Banking for koperasi simpan pinjam that can be accessed through the Internet network with the cost of IT infrastructure more affordable. This application utilizes the web hosting services available to replicate the cooperative database. The method used is System Development Life Cycle (SDLC) through waterfall approach, which includes: (1) system engineering, (2) analysis, (3) design, (4) coding, (5) testing, and (6) maintenance. Existing facilities in Internet Banking application for koperasi simpan pinjam include loan mutation reports, voluntary savings mutation, principal savings, time deposit, and loan simulation with various types of loan interest. Based on the testing of applications conducted with Black Box Testing Method, all functional applications have been running well and is now successfully implemented and operated.*

Keywords: *web, internet banking, koperasi simpan pinjam, internet application*

I. PENDAHULUAN

Sudah tidak bisa disangkal lagi, internet sudah masuk ke segala lini kehidupan. Pada tahun 2017, jumlah pengguna internet di Indonesia mencapai 143,26 juta jiwa. Angka tersebut meningkat dibandingkan pada tahun sebelumnya, yakni tahun 2016 yang tercatat mencapai 132,7 juta jiwa. Data tersebut merupakan hasil survei yang dilakukan oleh Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII) [1].

Internet memiliki dampak positif dan peranan penting dalam kehidupan sehari-hari, tidak hanya bagi masyarakat, melihat banyaknya manfaat internet, internet juga mempunyai peran penting dalam berbagai bidang kehidupan termasuk dunia UMKM dan koperasi. Koperasi modern yang telah menggunakan IT dapat meningkatkan pendapatan koperasi atau setidaknya terdapat perubahan pola pengelolaan

koperasi yang tujuan akhirnya adalah memajukan koperasi itu sendiri. Selain itu dengan penggunaan IT semua koperasi akan lebih mudah dalam melakukan pengelolaan keuangan dan anggota juga bisa secara langsung bisa melihat berapa banyak simpanan koperasinya, sehingga anggota tidak perlu datang lagi koperasi cukup menggunakan internet di rumah anggota bisa mengaksesnya

Salah satu fasilitas yang sering kita dengar dalam dunia perbankan adalah internet banking yang memiliki berbagai keuntungan bagi nasabah sebuah bank. Aplikasi internet banking adalah salah satu produk aplikasi di dunia perbankan yang diakui sebagai aplikasi modern yang membantu bank berkomunikasi dengan nasabah [2]. Pada awalnya, fasilitas ini memang disediakan oleh bank dengan tujuan memudahkan nasabah maupun pihak bank dalam melakukan transaksi perbankan melalui jaringan

internet. Keuntungannya yang paling utama adalah kita sebagai nasabah tidak perlu keluar rumah pergi ke bank atau ATM untuk bertransaksi, kecuali tarik tunai. Dengan demikian, nasabah diuntungkan dalam hal waktu dan biaya. Selain membawa manfaat bagi nasabah, internet banking juga memberikan manfaat bagi pihak bank yang mengoperasikannya, dimana bank terbantu dalam hal pengurangan biaya operasional. Keuntungan lainnya bagi bank, dengan adanya fasilitas ini akan menggiring nasabah-nasabah baru yang memang membutuhkan fasilitas ini.

Pada beberapa penelitian sebelumnya mengenai sistem informasi koperasi, masih belum ada yang membangun fasilitas internet banking yang diperuntukan untuk anggotanya, melainkan masih membangun aplikasi untuk membantu kinerja pengelola koperasi saja. Beberapa aplikasi yang sudah dibangun pada penelitian sebelumnya telah berbasis web sehingga mudah di akses dari platform apapun.

Aplikasi Sistem Informasi Simpan Pinjam Berbasis Web Pada Koperasi SPBNI Syariah adalah salah satu penelitian yang dilakukan tahun 2013, dimana aplikasi ini dibangun menggunakan bahasa pemrograman PHP dan basisdata MySQL. Metode pengerjaan yang digunakan adalah dengan menerapkan tahapan-tahapan model SDLC air terjun (*waterfall*) berbasis objek. Informasi yang akan dikeluarkan aplikasi ini berupa buku simpanan, buku pinjaman, dan laporan simpan pinjam. Fokus utama dari aplikasi ini adalah untuk membantu dalam meningkatkan kinerja manajerial pengelola koperasi SPBNI syariah pada unit usaha simpan pinjam sehingga dapat memajukan usaha koperasi SPBNI Syariah [3].

Penelitian lainnya yang dilakukan pada tahun 2019, berjudul “Sistem Informasi Pengkreditan Nasabah Pada Koperasi Simpan Pinjam Sejahtera Baru Kota Ternate Berbasis Web”, bertujuan untuk merancang sistem informasi pengajuan kredit berbasis Web pada Koperasi Simpan Pinjam Sejahtera Baru Kota Ternate. Metode Pengumpulan Data yang digunakan adalah observasi dan wawancara dengan melakukan Analisa sistem dan merancang sistem dengan Model Berbasis Object, dibangun menggunakan Bahasa Pemrograman HTML, CSS, MySQL, yang bertujuan memudahkan Pimpinan dalam pengambilan keputusan dengan proses monitoring hasil pengajuan kredit serta mempermudah nasabah dalam melakukan pengajuan kredit pada Koperasi Simpan Pinjam Sejahtera Baru Kota Ternate pada Website [4]. Tahun 2015, penelitian yang bertujuan untuk membuat sistem informasi simpan pinjam pada koperasi “KOPITAMA” Sawangan – Depok, meliputi analisis sistem dan dilanjutkan dengan perancangan sistem informasi. dengan menggunakan *flowchart*, DFD, ERD dan Normalisasi. Penelitian ini dilakukan untuk membuat perancangan sistem informasi simpan pinjam, dengan tujuan untuk menyempurnakan sistem simpan pinjam dari sistem manual [5].

Sistem informasi koperasi simpan pinjam pembiayaan syariah berbasis kelompok yang penelitiannya dilakukan tahun 2018 memiliki beberapa modul fungsi utama, antara lain: Layanan Anggota, Transaksi, Otorisasi, *Back-Office*, Laporan, dan Pengaturan Sistem. Sistem informasi ini berbeda dengan sistem informasi koperasi pada umumnya, karena adanya fungsi-fungsi yang mengakomodasi konsep anggota koperasi berkelompok di mana simpanan dan pembiayaan dikelola bersama anggota kelompok dengan prinsip tanggung renteng (senasib sepenanggungan). Proses transaksi dalam kelompok selama ini masih direkap secara manual sehingga menghabiskan waktu dan tenaga yang tidak sedikit. Sistem informasi ini jika telah layak digunakan di koperasi berbasis kelompok akan membantu meringankan beban kerja fasilitator dan staf koperasi lainnya [6].

Terdapat banyak arah pengembangan selanjutnya dari sistem informasi koperasi simpan pembiayaan syariah berbasis kelompok ini. Sistem informasi ini dapat dikembangkan agar bersifat responsif sehingga fasilitator dapat dengan nyaman mengakses sistem menggunakan *smartphone* atau *tablet* ketika berada di lapangan. Sistem informasi di kantor pusat dan kantor cabang dapat dibedakan untuk lebih mengakomodasi kebutuhan proses bisnis kantor yang berbeda. Selain itu, pengembangan aplikasi berbasis Android bagi anggota koperasi yang terintegrasi dengan sistem informasi utama dapat dilakukan untuk memberi layanan digital kepada anggota koperasi sehingga anggota koperasi dapat memantau profil rekening dan transaksi mereka dari *smartphone* mereka [6].

Pemberdayaan koperasi secara tersktuktur dan berkelanjutan diharapkan akan mampu menyelaraskan struktur perekonomian nasional, mempercepat pertumbuhan ekonomi nasional, mengurangi tingkat pengangguran terbuka, menurunkan tingkat kemiskinan, mendinamisasi sektor riil, dan memperbaiki pemerataan pendapatan masyarakat. Koperasi membutuhkan inovasi dan penguasaan terhadap teknologi informasi jika ingin bertahan dan bersaing di era digital sekarang ini. Salah satu inovasi yang bisa dikembangkan adalah mengembangkan layanan aplikasi internet banking bagi anggota dan nasabah koperasi seperti halnya yang di lakukan perbankan. Mengingat koperasi simpan pinjam oprasionalnya mirip seperti sebuah bank.

Namun di balik itu semua, untuk implementasi aplikasi internet banking sudah barang tentu memerlukan sumber daya manusia dan biaya *online* infrastruktur IT yang tidak sedikit. Kita ketahui bersama bank-bank besar yang sudah menerapkan internet banking sampai membebani nasabahnya dengan biaya administrasi setiap bulannya. Investasi perangkat keras seperti *server*, perangkat jaringan komputer, listrik, pendingin ruangan, dan tentu saja koneksi internet yang memadai dan stabil memerlukan biaya yang tidak kecil. Bagi koperasi ini merupakan beban dan hambatan dalam berinovasi di IT. Melihat

hal itu semua, penelitian ini bertujuan untuk dapat mengembangkan perangkat lunak aplikasi internet banking bagi koperasi simpan pinjam berbasis web yang dapat diakses melalui jaringan internet dengan dengan biaya infrastruktur IT yang lebih murah dan terjangkau, sehingga dapat diaplikasikan oleh koperasi yang skala kecil sekalipun. Aplikasi internet banking yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat memberikan kemudahan bagi anggotanya untuk dapat melihat semua saldo dan mutasi rekening simpanan maupun pinjaman yang dimiliki anggota secara real time. Selain mutasi, aplikasi ini juga memberikan fasilitas simulasi kredit bagi calon peminjamnya.

A. Website

Website atau lazim disingkat web adalah halaman informasi dan media komunikasi yang disediakan melalui jalur internet sehingga bisa diakses di seluruh dunia selama terkoneksi dengan jaringan internet dimana para penggunaannya bisa menulis dan membaca atau mengakses semua informasi yang ada di dalamnya. Untuk membangun website, harus diketahui tentang HTML yang merupakan teknologi dasar yang digunakan untuk menentukan struktur halaman web. HTML digunakan untuk menentukan apakah konten web harus diakui sebagai paragraf, daftar, judul, *link*, gambar, *multimedia player*, *form*, atau salah satu dari banyak elemen lain yang tersedia.

Hypertext Transfer Protocol (HTTP) merupakan protokol yang paling umum dan populer untuk mengakses *resources* pada halaman Web [7]. Ini merupakan protokol *client-server* dimana *client* (biasanya web browser) mengirimkan permintaan kepada web server, yang mengirim respon kembali pada *client*.

Berbagai pengembangan telah dilakukan terhadap kode HTML dan telah melahirkan teknologi-teknologi baru di dalam dunia pemrograman web. Kendati demikian, sampai sekarang HTML tetap berdiri kokoh sebagai dasar dari bahasa pemrograman web seperti PHP, ASP, JSP dan lainnya. Pemrograman web dapat menghasilkan halaman website yang dinamis karena kontennya dapat berubah. Dengan kata lain, adanya program yang berjalan untuk mengatur perubahan data yang ditampilkan dalam website dinamis tersebut. Jenis website dinamis ini sangat cocok untuk website *e-commerce* yang membutuhkan update data secara terus menerus. Dalam pemeliharaan website dinamis pun lebih mudah daripada website statis karena dapat menggunakan *Content Management System* (CMS).

B. Koperasi Simpan Pinjam

Dalam Pasal 1 Ayat (1) Undang-Undang Nomor 25 Tahun 1992 tentang perkoperasian dinyatakan bahwa pengertian koperasi adalah badan usaha yang beranggotakan orang-seorang atau badan hukum Koperasi dengan melandaskan kegiatannya berdasarkan prinsip koperasi sekaligus sebagai gerakan ekonomi rakyat yang berdasar atas asas kekeluargaan [8].

Dalam Pasal 1 Ayat (2) Peraturan Pemerintah Nomor 9 Tahun 1995 Tentang Pelaksanaan Kegiatan Usaha Simpan Pinjam Oleh Koperasi dinyatakan bahwa pengertian Koperasi Simpan Pinjam adalah koperasi yang kegiatannya hanya usaha simpan pinjam [9].

Berdasarkan kedua peraturan pemerintah di atas, Koperasi simpan pinjam merupakan salah satu badan usaha yang beranggotakan orang-seorang atau badan hukum sebagai gerakan ekonomi rakyat yang berdasarkan atas asas kekeluargaan yang kegiatannya hanya usaha simpan pinjam. Usaha koperasi yang dikelola oleh para anggota dengan membentuk kepengurusan koperasi melalui Rapat Anggota yang melaksanakan kegiatannya berdasarkan prinsip koperasi. Koperasi simpan pinjam (KSP) dewasa ini sangat menjamur namun demikian pertumbuhan koperasi yang sangat banyak tersebut tidak diikuti kualitas dari KSP sendiri, sehingga sangat banyak ditemukan KSP yang sangat sulit berkembang bahkan mati dalam waktu yang sangat cepat. Koperasi simpan pinjam di satu sisi terdapat kemudahan dalam pendiriannya, namun disisi lain sangat dibatasi dengan ketentuan-ketentuan koperasi sendiri yang justru akan membuat KSP tersebut sangat sulit berkembang. Semua kegiatan usaha termasuk KSP, agar eksis dan terus dapat berkembang diperlukan strategi dalam pengelolaan bisnisnya [10].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian terapan yang bertujuan mengembangkan aplikasi internet banking bagi Koperasi Simpan Pinjam berbasis web yang dapat diakses oleh semua anggota koperasi melalui jaringan internet. Lokasi penelitian lapangan adalah Koperasi Simpan Pinjam (KSP) Saduarsa yang berdomisili di Jalan Sangalangit I No 6 Kota Denpasar.

Pendekatan metode yang digunakan yaitu penelitian dan pengembangan (*research and development*). Prosedur yang digunakan dalam mengembangkan aplikasi ini menggunakan pendekatan metode *system development life cycle* (SDLC). Metode ini terdiri atas enam tahapan yang meliputi: (1) *system engineering*, (2) *analysis*, (3) *design*, (4) *coding*, (5) *testing*, dan (6) *maintenance* [6]. Siklus hidup pengembangan sistem ini juga dikenal dengan istilah *waterfall* model, karena pada setiap tahapan sistem akan dikerjakan secara berurutan menurun dari satu ke tahap yang lain [11].

1. System Engineering

System engineering atau rekayasa sistem merupakan tahap awal dalam pengembangan aplikasi. Pada tahap ini dilakukan identifikasi kebutuhan informasi oleh seluruh elemen dalam organisasi. Tahapan ini diharapkan dapat menghimpun kandungan umum basis data dari organisasi secara keseluruhan.

2. Software Requirements Analysis

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan persyaratan perangkat lunak. Agar dapat

memahami program yang akan dibangun, seorang *system analyst* harus memahami domain informasi yang dibutuhkan oleh organisasi, terutama fungsi-fungsi yang dibutuhkan, kinerja sistem, dan antarmuka sistem.

3. *Design*

Proses desain menerjemahkan hasil analisis kebutuhan ke dalam sebuah representasi perangkat lunak yang dapat dinilai kualitasnya sebelum coding dimulai. Desain perangkat lunak merupakan proses yang terdiri atas beberapa tahapan, yaitu: perancangan struktur data, arsitektur perangkat lunak, detail prosedur, dan karakteristik antarmuka.

4. *Coding*

Hasil desain harus diterjemahkan ke dalam bentuk yang dapat dibaca oleh komputer. Jika desain dilakukan secara rinci, maka proses *coding* akan dapat dilakukan secara sistematis.

5. *Testing*

Setelah *coding* selesai dilakukan, maka dilanjutkan dengan pengujian program. Proses pengujian berfokus pada logika internal dari *software*, untuk memastikan bahwa semua *statement* telah diuji. Secara eksternal, yaitu melakukan tes untuk mengungkap kesalahan dan memastikan bahwa input yang ditetapkan, akan memberikan hasil aktual sesuai dengan yang dibutuhkan.

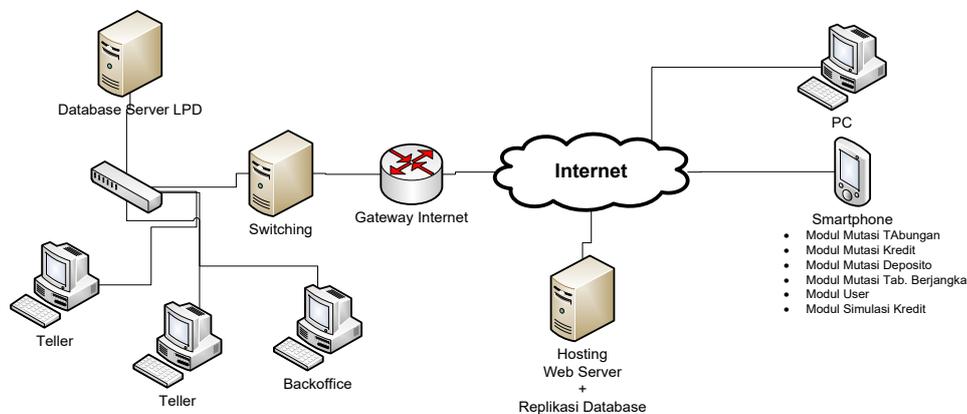
6. *Maintenance*

Perangkat lunak pasti akan mengalami perubahan setelah disampaikan kepada pelanggan. Perubahan akan terjadi setelah ditemukannya kesalahan, atau karena perangkat lunak harus disesuaikan untuk mengakomodasi perubahan lingkungan eksternal.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Analisis dan Arsitektur Sistem*

KSP Saduarsa sebagai tempat penelitian, saat ini telah memiliki Sistem Informasi yang terdiri dari Microbanking System dan Sistem Akuntansi KSP. Sistem tersebut sudah berbasis *client-server* dan berjalan pada server berbasis Windows dengan database Microsoft SQL Server. Agar data simpanan dan pinjaman dapat diakses melalui jaringan internet, KSP Saduarsa menyewa layanan *hosting* sebagai tempat untuk mereplikasi data simpanan dan pinjaman yang ada di sistem yang berbasis *client-server*. Selain untuk factor keamanan, karena nasabah tidak langsung mengakses server KSP Saduarsa, arsitektur ini juga dipilih untuk mengurangi biaya online infrastruktur IT. Perangkat lunak switching pada gambar arsitektur di bawah berguna untuk melakukan sinkronisasi data simpanan dan pinjaman yang ada di server KSP Saduarsa dengan database di server *hosting*, sehingga data yang dilihat oleh nasabah sifatnya *real time*. Arsitektur sistem dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Arsitektur sistem.

Pengembangan aplikasi meliputi dua bagian yaitu:

1. Aplikasi Internet Banking KSP

Aplikasi internet banking KSP dibangun pada server hosting berbasis web sehingga dapat dibuka pada perangkat komputer ataupun mobile yang terhubung ke internet. Aplikasi ini dibangun dengan menggunakan ASP.net dan database MySQL. Database MySQL yang ada di server *hosting* ini adalah hasil replikasi database yang ada di server KSP. Modul yang ada pada aplikasi ini adalah modul mutasi pinjaman, mutasi tabungan,

mutasi simpanan wajib, dan mutasi simpanan berjangka.

2. Aplikasi *Switching*

Aplikasi *Switching* akan melakukan sinkronisasi dari database KSP yang ada di server KSP dengan database MySQL di server *hosting*. Tujuannya agar bisa diakses dari publik dan server database KSP bisa terlindungi. Proses sinkronisasi akan berjalan secara otomatis setiap lima detik.

B. Tampilan Antar Muka

Tampilan antar muka dari Aplikasi *Internet Banking* Koperasi Simpan Pinjam Berbasis Web yang telah dikembangkan pada penelitian ini dengan perangkat Android, meliputi:

1. Halaman *Login*

Halaman *login* ini berguna untuk melakukan otorisasi dan otentifikasi anggota koperasi untuk dapat masuk ke dalam aplikasi. Tampilan halaman *login* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Halaman *login*.

2. Halaman Utama

Halaman utama ini akan muncul setelah berhasil login ke aplikasi. Selain menampilkan nama dan nomor anggota, pada halaman ini tersedia fasilitas untuk melihat semua rekening pinjaman maupun simpanan yang dimiliki oleh anggota. Pada halaman utama ini juga terdapat fasilitas simulasi kredit, ubah *password* dan keluar dari aplikasi. Tampilan halaman utama dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Halaman utama.

3. Mutasi Pinjaman

Halaman ini menampilkan mutasi rekening pinjaman yang dimiliki oleh anggota atau nasabah koperasi. Tampilan Halaman Mutasi Pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Mutasi pinjaman.

4. Mutasi Simpanan

Halaman ini menampilkan mutasi rekening simpanan yang dimiliki oleh anggota atau nasabah koperasi. Tampilan Halaman Mutasi Pinjaman dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Mutasi Simpanan.

5. Simulasi Pinjaman

Halaman ini menyediakan fasilitas simulasi pinjaman lengkap dengan jumlah angsuran dan

perkiraan uang dibawa pulang. Tampilan Halaman Simulasi Pinjaman dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6. Simulasi pinjaman.

C. Pengujian Aplikasi

Pengujian aplikasi dilakukan untuk mengetahui performa Aplikasi Internet Banking Koperasi Simpan Pinjam berbasis Web yang telah dikembangkan. Pengujian aplikasi menggunakan metode pengujian *Black Box Testing* [12] berfokus pada spesifikasi fungsional dari perangkat lunak. Pengujian aplikasi dengan melibatkan 20 orang anggota koperasi yang dilakukan secara obyektif. Prosedur pengujian aplikasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Black Box Testing berfokus pada spesifikasi fungsional dari perangkat lunak. Berdasarkan hasil

pengujian sistem, secara fungsional aplikasi sudah berjalan dengan baik.

IV. KESIMPULAN

Aplikasi Internet Banking Koperasi Simpan Pinjam berbasis web telah berhasil dikembangkan dengan metode *System Development Life Cycle* (SDLC) melalui pendekatan air terjun (*waterfall approach*). Program aplikasi ini dibuat dengan menggunakan ASP.Net dan database menggunakan DBMS MySQL pada server *hosting* yang merupakan replikasi database dari Sistem Informasi yang telah dimiliki oleh koperasi. Fasilitas yang ada dalam Aplikasi internet banking koperasi simpan pinjam meliputi laporan mutasi pinjaman, mutasi simpanan sukarela, mutasi simpanan pokok, mutasi simpanan berjangka, dan simulasi pinjaman dengan berbagai jenis bunga pinjaman. Aplikasi ini dikembangkan dengan harapan dapat mengurangi kegiatan cetak mencetak buku tabungan maupun pinjaman, memudahkan anggota mengetahui saldo tabungan maupun pinjamannya secara *real time*, dan tentu saja dapat meningkatkan brand image KSP itu sendiri di mata anggota bahkan masyarakat pada umumnya. Aplikasi internet banking ini juga telah diuji dan menunjukkan bahwa fungsional aplikasi telah berjalan dengan baik. Selanjutnya aplikasi internet banking ini masih dapat dikembangkan dengan menambahkan fasilitas internet banking lainnya seperti transfer antar rekening, pembuatan rekening deposito, dan pembayaran tagihan-tagihan listrik dan lainnya.

Table 1. Pengujian aplikasi.

Kelas Uji	Butir Uji	Hasil Uji
Menjalankan Aplikasi Login	Masuk halaman login	Valid
	Verifikasi user dan password	Valid
	Masuk Halaman Utama	
Mutasi Pinjaman	Menampilkan Mutasi Pinjaman	Valid
	Menampilkan Mutasi Simpanan sukarela	Valid
	Menampilkan Mutasi Simpanan Wajib	Valid
	Menampilkan Mutasi Simpanan Berjangka	Valid
Ubah Password	Mengubah <i>user password</i>	Valid
Simulasi Pinjaman	Menampilkan simulasi pinjaman	Valid

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia, "Potret zaman now pengguna dan perilaku internet di Indonesia!," *Buletin APJII*, edisi 23, 2018.
- [2] D. Antoni, "Faktor-faktor usability internet banking di Indonesia," *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan manajemen*, 2015.
- [3] J. Abdilah and B. Oktavianus, "Aplikasi sistem informasi simpan pinjam berbasis web pada koperasi SPBNI Syariah," *Jurnal LPKIA*, vol. 2, no. 1, 2013.
- [4] M. S. Abudrahman and M. Abdullah, "Sistem informasi pengkreditan nasabah pada koperasi simpan pinjam sejahtera baru Kota Ternate berbasis web," *Jurnal Ilmiah Ilkominfo*, vol. 2, no. 1, 2019.
- [5] M. Fuad, "Perancangan sistem informasi simpan pinjam pada koperasi "KOPITAMA" Depok," *UG Jurnal*, vol. 9, no. 5, 2015.

- [6] F. Rahna, "Rancang bangun system informasi koperasi simpan pinjam pembiayaan syariah berbasis kelompok," *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, vol. 4, no. 1, 2018.
- [7] R. Ramakrishnan and J. Gehrke, *Sistem manajemen basis data*, Yogyakarta: McGraw-Hill Education, 2013.
- [8] Anonim, *Undang-Undang Republik Indonesia nomor 25 Tahun 1992 tentang perkoperasian, biro hukum dan organisasi Departemen Koperasi*, Jakarta: Presiden Republik Indonesia, 1992.
- [9] Anonim, *Peraturan Pemerintah Nomor 9 Tahun 1995 tentang pelaksanaan kegiatan usaha simpan pinjam oleh koperasi*, Jakarta: Presiden Republik Indonesia, 2004.
- [10] D. Muljono, *Buku pintar strategi bisnis koperasi simpan pinjam*, Yogyakarta: Andi, 2012.
- [11] A. Supriyanto, *Pengantar teknologi informasi*, Jakarta: Salemba Infotek, 2005.
- [12] M. S. Mustaqbal, R. F. Firdaus, and H. Rahmadi, "Pengujian aplikasi menggunakan black box testing boundary value analysis (studi kasus: aplikasi prediksi kelulusan SNMPTN)," *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan*, vol. 1, no.3, 2015.

Sistem Proteksi Terhadap Gangguan Petir Pada Stasiun Pemancar TV

I Gede Suputra Widharma[✉], I Nengah Sunaya, I Gusti Putu Arka,
I Gde Nyoman Sangka

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali

[✉]suputra@pnb.ac.id

Abstrak: Petir mempunyai karakteristik yang berbeda di berbagai negara. Mengingat kerusakan yang timbul akibat dari sambaran petir, maka muncul usaha untuk melindungi dari akibat sambaran petir. Dalam kelistrikan, ini dinamakan usaha proteksi petir. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah membuat simulasi sistem proteksi gangguan petir pada stasiun pemancar TV sesuai standar PUIPP dan SNI 03-7015-2004. Sistem proteksi gangguan petir pada stasiun pemancar TV ini memanfaatkan teknik pengolahan data deskriptif pada menara stasiun pemancar TV yang memiliki tinggi 50 meter, panjang 30 meter, dan lebar 20 meter. Data ini dikaji dengan literatur yang ada. Dengan membandingkan tingkat proteksi petir dengan efisiensinya diperoleh indeks dan kebutuhan proteksi yang terbaik yaitu tingkat proteksi III dan indeks sebesar 13.

Kata kunci: sistem proteksi, petir, pemancar TV.

Abstract: Lightning has different characteristics in various countries. Given the damage caused by lightning strikes. Given the damage arising from lightning strikes, an attempt is made to protect against the effects of lightning strikes. In electricity, this is called the lightning protection field. The aim of this research is to make a simulation of protection system at TV transmitter station based on the PUIPP and SNI 03-7015-2004 standards. The protection system of lightning disturbances at the TV transmitter station uses descriptive data collection techniques to the tower of transmitter TV station that has 50 metres high, 30 metres length, and 20 metres width. This data is examined with existing literature. By comparing the level of lightning protection with its efficiency, the best index and protection needs are obtained, namely protection level III and index of 13.

Keywords: protection system, lightning, TV transmitter.

I. PENDAHULUAN

Indonesia secara geografis merupakan negara yang terletak di garis khatulistiwa dan di antara dua benua dengan hari guruh sekitar 120 hari/tahun. Indonesia yang merupakan negara khatulistiwa mempunyai karakteristik petir yang berbeda dengan negara di luar negeri, maka karakteristik petir di Indonesia sering dijadikan sebagai standar oleh badan standarisasi pada umumnya. Mengingat kerusakan yang timbul akibat dari sambaran petir maka muncul usaha untuk melindungi dari akibat sambaran petir, dalam dunia kelistrikan ini dinamakan usaha proteksi petir. Dalam usaha proteksi petir ini tentu dibutuhkan pengetahuan tentang petir itu sendiri dan karakteristik petir. Dalam hal ini juga termasuk proteksi petir itu sendiri [1].

Dari beberapa penelitian yang dilakukan tentang sistem proteksi gangguan petir, pentingnya memberikan sistem proteksi gangguan petir pada tower [2]. Dengan memasang kawat tanah yang terpasang pada titik tertinggi sebagai pengamanan saluran terhadap petir. Oleh karena itu, pada wilayah penyulang yang rawan petir sudah mulai direalisasikan pemasangan kawat tanah ini sebagai sistem proteksi [3]. Sudut perlindungan pada perisai (*shield*) yang optimal mampu meningkatkan proteksi yang dilakukan [4]. Sistem pengamanan eksternal gangguan petir pada stasiun

pemancar TVRI perlu untuk ditingkatkan kemampuannya [5].

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan di atas, maka permasalahan yang dibahas pada artikel ini adalah bagaimana sistem proteksi petir di stasiun pemancar televisi berdasarkan PUIPP dan SNI 03-7015-2004 serta bagaimana perencanaan sistem proteksi petir yang seharusnya. Dari identifikasi permasalahan ini, maka penelitian ini akan membatasi masalah pada analisis sistem pengamanan gangguan petir yang digunakan pada stasiun pemancar TV dengan berpedoman atau berlandaskan Standar PUIPP dan Standar SNI 03-7015-2004 yang hanya mencakup 4 hal yaitu pemilihan tingkat proteksi petir, rancangan sistem terminasi udara, konduktor penyalur dan sistem terminasi bumi.

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah menganalisa sistem pengamanan peralatan di stasiun pemancar TV dengan standar PUIPP dan SNI 03-7015-2004 [6]. Penulis berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat berupa hasil analisis pengamanan gangguan petir untuk pihak TV dalam sistem proteksi gangguan petir, agar ke depan bisa lebih mengetahui standar pengamanan gangguan petir sesuai standar yang digunakan. Serta dapat memberikan sumbangan yang berarti bagi perkembangan ilmu pengetahuan dalam bentuk referensi bagaimana mengatasi gangguan

petir dengan sistem proteksi yang andal dan tepat guna berdasarkan simulasi stasiun pemancar TV.

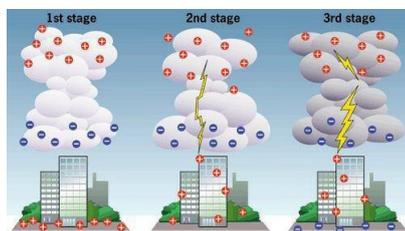
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Petir

Petir, kilat, atau halilintar adalah gejala alam yang biasanya muncul pada musim hujan di saat langit memunculkan kilatan cahaya sesaat yang menyilaukan. Beberapa saat kemudian disusul dengan suara menggelegar yang disebut guruh. Perbedaan waktu kemunculan ini disebabkan adanya perbedaan antara kecepatan suara dan kecepatan cahaya. Petir merupakan gejala alam yang bisa kita analogikan dengan sebuah kondensator raksasa, dimana lempeng pertama adalah awan (bisa lempeng negatif atau lempeng positif) dan lempeng kedua adalah bumi (dianggap netral). Seperti yang sudah diketahui kapasitor adalah sebuah komponen pasif pada rangkaian listrik yang bisa menyimpan energi sesaat (*energy storage*). Petir juga dapat terjadi dari awan ke awan (*intercloud*), dimana salah satu awan bermuatan negatif dan awan lainnya bermuatan positif [7].

B. Proses Terjadinya Petir

Petir terjadi diakibatkan terkumpulnya ion bebas bermuatan negatif dan positif di awan, ion listrik dihasilkan oleh gesekan antar awan dan juga kejadian ionisasi ini disebabkan oleh perubahan bentuk air mulai dari cair menjadi gas atau sebaliknya, bahkan padat (es) menjadi cair.



Gambar 1. Proses ionisasi terjadinya petir [8].

Ion bebas menempati permukaan awan dan bergerak mengikuti angin yang berhembus, bila awan-awan terkumpul di suatu tempat maka awan bermuatan akan memiliki beda potensial yang cukup untuk menyambar permukaan bumi maka inilah yang disebut petir. Proses ionisasi terjadinya petir dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada awalnya awan bergerak mengikuti arah angin, selama proses Bergeraknya awan ini maka saling bergesekan satu dengan yang lainnya, dari proses ini terlahir elektron-elektron bebas yang memenuhi permukaan awan. Proses ini bisa digambarkan secara sederhana pada sebuah penggaris plastik yang digosokkan pada rambut, maka penggaris ini akan mampu menarik potongan kertas.

Pada suatu saat awan ini akan terkumpul di sebuah kawasan, saat inilah petir dimungkinkan terjadi karena elektron-elektron bebas ini saling menguatkan satu dengan lainnya. Sehingga memiliki cukup beda potensial untuk menyambar permukaan bumi [7].

C. Sistem Proteksi Petir

Proteksi petir merupakan suatu usaha untuk melindungi suatu objek dari bahaya yang diakibatkan petir, baik itu secara langsung maupun tidak langsung. Didasarkan pada tujuan atau sifat dari proteksi itu sendiri, proteksi petir dibagi menjadi dua jenis, yaitu: proteksi sambaran petir, dan proteksi sambaran tegangan lebih petir. Prinsip kerja antara kedua jenis proteksi tersebut di atas tentu saja berbeda.

Proteksi sambaran petir lebih bersifat pencegahan (preventif) sedang proteksi tegangan lebih petir sifatnya tidak lagi mencegah tetapi mengurangi akibat yang ditimbulkan oleh sambaran petir, dalam hal ini apabila ada jenis proteksi yang pertama gagal melaksanakan fungsinya [9].

D. Proteksi Terhadap Tegangan Lebih Petir

Sambaran petir dapat menyebabkan tegangan lebih, hal ini karena sambaran petir merupakan peristiwa pelepasan muatan artinya pada saat petir menyambar suatu objek berarti pada objek itu telah disuntikan sejumlah muatan yang berasal dari petir sehingga tegangan pada objek tersebut naik melebihi yang seharusnya. Fenomena ini paling berbahaya bila terjadi pada peralatan-peralatan listrik yang memiliki tegangan kerja terbatas. Contohnya pada jaringan hantaran udara.

Sambaran petir pada jaringan hantaran udara memberikan suntikan muatan listrik. Suntikan muatan ini menimbulkan kenaikan tegangan pada jaringan, sehingga di jaringan timbul tegangan lebih berbentuk gelombang impuls yang merambat di sepanjang jaringan menuju ujung-ujung jaringan. Tegangan lebih akibat petir ini sering disebut surja petir (*lightning surge*).

E. Besarnya Kebutuhan Bangunan Pada Sistem Proteksi Petir

Instalasi-instalasi bangunan berdasarkan letak, bentuk, penggunaannya dianggap mudah terkena sambaran petir dan perlu diberi penangkal petir:

1. Bangunan-bangunan tinggi, seperti menara-menara, gedung-gedung bertingkat, cerobong-cerobong pabrik.
2. Bangunan-bangunan penyimpanan bahan mudah terbakar atau meledak, misalnya seperti pabrik amunisi, gudang penyimpanan bahan peledak, gudang penyimpanan cairan atau gas yang mudah terbakar, dan lain-lain.
3. Bangunan-bangunan untuk umum, misalnya gedung-gedung bertingkat, gedung pertunjukan, gedung sekolah, stasiun, dan lain-lain.
4. Bangunan-bangunan yang berdasarkan fungsi khusus perlu dilindungi secara baik, misalnya museum, gedung arsip negara, dan lain-lain.

F. Standar PIUPP

Besarnya kebutuhan suatu bangunan akan suatu instalasi penangkal petir ditentukan oleh besarnya

kemungkinan kerugian serta bahaya yang ditimbulkan bila bangunan tersebut tersambar petir.

Besarnya kebutuhan tersebut dapat ditentukan secara empiris berdasarkan indeks-indeks yang menyatakan faktor-faktor tertentu [8], sehingga diperoleh perkiraan bahaya akibat sambaran petir (R) sesuai dengan Persamaan (1).

$$R = A + B + C + D + E \quad (1)$$

Keterangan:

- A : Bahaya berdasarkan jenis bangunan
- B : Bahaya berdasarkan konstruksi bangunan
- C : Bahaya berdasarkan tinggi bangunan
- D : Bahaya berdasarkan situasi bangunan
- E : Bahaya berdasarkan hari guruh yang terjadi

Apabila data yang ada dimasukkan dalam persamaan (1), maka selanjutnya dapat diambil kesimpulan mengenai perlu atau tidaknya sistem proteksi petir eksternal digunakan. Jika nilai $R > 13$, maka bangunan tersebut dianjurkan menggunakan sistem proteksi petir.

Jelas bahwa semakin besar nilai R , semakin besar pula bahaya serta kerusakan yang ditimbulkan oleh sambaran petir, berarti semakin besar pula kebutuhan bangunan tersebut akan adanya suatu sistem penangkal petir.

G. Standar SNI

Berdasarkan SNI 03-7015-2004 terdapat berbagai macam standar untuk sistem proteksi petir pada bangunan gedung, dalam skripsi ini penulis hanya mengacu pada beberapa standar yang terdapat dalam SNI 03-7015-2004 yaitu:

1. Pemilihan Tingkat Proteksi Petir
2. Rancangan sistem terminasi udara
3. Konduktor penyalur
4. Sistem terminasi bumi

H. Rancangan Sistem Terminasi Udara Menurut SNI (03-7015-2004)

Untuk menentukan penempatan terminasi udara dan untuk mengetahui daerah proteksi, maka penulis menggunakan metode-metode yang terdapat dalam SNI 03-7015-2004, yaitu:

1. Metode sudut proteksi (*Protective Angle Method*)
2. Metode bola bergulir (*Rolling Sphere Method*)
3. Metode jala (*Mesh Sized Method*)

Pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem proteksi petir berdasarkan pada frekuensi sambaran petir langsung setempat yang diperkirakan ke struktur yang diproteksi dan frekuensi sambaran petir tahunan setempat yang diperbolehkan. Kerapatan kilat petir ke tanah atau kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan di daerah tempat suatu struktur berada adalah jumlah hari guruh per tahun yang diperoleh dari data isokeraunic level di daerah tempat struktur yang

akan diproteksi yang dikeluarkan oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG).

Area cakupan ekivalen dari bangunan adalah daerah permukaan tanah yang dianggap sebagai struktur yang mempunyai frekuensi sambaran langsung tahunan [8]. Area ini dihitung dengan Persamaan (2).

$$a^2 = b^2 + h^2 \quad (2)$$

Keterangan:

- a : panjang dari bangunan tersebut (m)
- b : lebar dari bangunan tersebut (m)
- h : tinggi bangunan yang diproteksi (m)

Maka setelah dihitung nilai E (efisiensi sistem proteksi petir) sesuai dengan persamaan di atas, setelah itu dapat ditentukan tingkat proteksinya sesuai dengan tingkat proteksi Tabel 1.

Tabel 1. Efisiensi sistem proteksi petir.

Tingkat Proteksi	Efisiensi SPP
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

I. Konduktor Penyalur (*Down Conductor*)

Konduktor penyalur adalah bagian dari sistem proteksi eksternal yang dimaksudkan untuk melewatkan arus petir dari sistem terminasi udara ke sistem pembumian.

Konduktor penyalur perlu merancang agar tidak menimbulkan induksi terhadap peralatan-peralatan listrik yang terdapat didalam ataupun di sekitar bangunan atau gedung yang diproteksi. Pemilihan jumlah dan posisi konduktor penyalur sebaiknya memperhitungkan kenyataan bahwa, jika arus petir dibagi dalam beberapa konduktor penyalur, resiko dan loncatan ke samping dan gangguan elektromagnetik didalam bangunan gedung berkurang [10].

J. Sistem Terminasi Bumi (*Grounding System*)

Sistem terminasi bumi perlu dirancang sedemikian rupa sehingga memperkecil tegangan sentuh dan tegangan langkah sehingga aman bagi manusia dan peralatan yang terdapat di sekitar daerah yang diproteksi.

Guna mengalirkan arus petir ke bumi tanpa menyebabkan tegangan lebih yang berbahaya, maka bentuk dan dimensi sistem terminasi bumi lebih penting dari nilai spesifik elektroda bumi. Namun pada umumnya di rekomendasikan resistansi bumi yang rendah. Pada dasarnya ada 3 (tiga) jenis elektroda yang digunakan pada sistem pentanahan, yaitu:

1. Elektroda Batang
2. Elektroda Pelat
3. Elektroda Pita

Elektroda - elektroda ini dapat digunakan secara tunggal maupun jamak dan juga secara gabungan dari ketiga jenis dalam suatu sistem [10].

K. *Hipotesis*

Hipotesis merupakan jawaban sementara terhadap rumusan masalah penelitian, dimana rumusan masalah penelitian telah dinyatakan dalam bentuk kalimat pertanyaan. Dikatakan sementara karena jawaban yang diberikan adalah didasarkan pada teori yang relevan, belum didasarkan pada fakta-fakta empiris yang diperoleh melalui pengumpulan data [8].

Penolakan dan penerimaan hipotesis tergantung pada hasil penyelidikan terhadap fakta-fakta. Dengan demikian, hipotesis adalah suatu teori sementara yang kebenarannya perlu diuji. Berdasarkan landasan teori di atas, dapat disusun hipotesis dalam penelitian ini sebagai berikut:

H₀: penangkal petir pada stasiun pemancar TV dinyatakan tidak sesuai berdasarkan standar PUIPP dan standar SNI 03-7015-2004.

H₁: penangkal petir pada stasiun pemancar TV dinyatakan sesuai berdasarkan standar PUIPP dan standar SNI 03-7015-2004.

III. PEMBAHASAN

A. *Metode Penelitian*

Metode Penelitian merupakan suatu cara atau strategi yang digunakan oleh peneliti di dalam melaksanakan kegiatan penelitiannya untuk mengambil data dan kenyataan yang terjadi di lapangan. Berdasarkan hasil pelaksanaan penelitian tersebut dapat ditarik suatu kesimpulan yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah di muka publik.

B. *Jenis Penelitian*

Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode penelitian deskriptif dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Metode penelitian deskriptif sebagai kegiatan yang meliputi pengumpulan data dalam rangka menguji hipotesis atau menjawab pertanyaan yang menyangkut keadaan yang sedang berjalan dari pokok suatu penelitian. Penelitian deskriptif menentukan dan melaporkan keadaan sekarang. Alasan digunakannya metode deskriptif adalah sebagai berikut:

1. Metode deskriptif telah digunakan secara luas dan dapat meliputi banyak segi dibanding dengan metode-metode penelitian yang lain.
2. Metode deskriptif banyak memberikan sumbangan kepada ilmu pengetahuan melalui pemberian informasi keadaan mutakhir dan dapat membantu mengidentifikasi faktor-faktor yang berguna untuk melaksanakan percobaan.
3. Metode deskriptif dapat digunakan untuk menggambarkan keadaan-keadaan yang mungkin terdapat dalam situasi tertentu.

Metode penelitian deskriptif ini melakukan analisis hanya sampai pada taraf deskripsi, yaitu menganalisis dan menyajikan fakta secara sistematis

sehingga dapat lebih mudah untuk dipahami dan disimpulkan. Simpulan yang diberikan jelas atas dasar faktualnya sehingga semuanya dapat dikembalikan langsung pada data yang diperoleh.

Pada penelitian ini yang akan di diskripsikan mengenai sistem penangkal petir yang ada di Stasiun Pemancar TV, berupa data fisik dan pemasangan komponen di lapangan yang akan dianalisis menggunakan rumus penentuan sistem penangkal petir yang terdapat pada panduan atau acuan berupa PUIPP dan Standar SNI 03-7015-2014.

C. *Sumber Data dan Variabel Penelitian*

Sumber data adalah subyek dari mana data dapat diperoleh. Pada penelitian ini sumber data adalah system penangkal petir di Stasiun Pemancar TV, yang harus didapat dari sumber data berupa data fisik bangunan yang akan digunakan untuk pengolahan data menggunakan rumus yang terdapat dalam Standar SNI 03-7015-2014, serta sistem penangkal petir yang telah terpasang di sana untuk di analisis berdasarkan panduan atau acuan yang digunakan dalam penelitian. Variabel adalah gejala yang bervariasi. Sedangkan gejala sendiri berarti obyek penelitian. Jadi dapat disimpulkan variabel adalah obyek penelitian yang bervariasi.

Variabel dalam penelitian ini adalah sistem penangkal petir yang digunakan, komponen-komponen yang digunakan, cara pemasangan sistem penangkal petir yang diterapkan sehingga memicu suatu perbandingan dengan standar SNI 03-7015-2004 yang sudah ditetapkan.

D. *Metode Pengumpulan Data*

Metode pengumpulan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Metode Dokumentasi*
Menurut Suharsimi, metode dokumentasi adalah metode yang digunakan untuk mencari data mengenai hal-hal atau variabel yang berupa catatan, transkrip, buku, surat kabar, majalah, prasasti, notulen rapat, lengger, agenda, dan sebagainya [1]. Metode dokumentasi bertujuan untuk mendapatkan komponen – komponen yang digunakan dalam sistem penangkal petir.
2. *Metode Observasi*
Metode observasi dalam penelitian ini adalah pengamatan langsung pada sistem penangkal petir beserta komponen – komponen yang digunakan dalam membantu pengoperasian sistem penangkal petir tersebut.

E. *Instrumen Penelitian*

Instrumen adalah alat atau fasilitas yang digunakan oleh peneliti dalam mengumpulkan data agar pekerjaannya lebih mudah dan hasilnya lebih baik, dalam arti lebih cermat, lengkap dan sistematis sehingga lebih mudah diolah. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini berupa:

1. Dokumentasi dengan cara mencari data bangunan berupa denah bangunan, tinggi menara, jenis kabel konduktor, serta luas bangunan.
2. Observasi dengan cara mengamati secara langsung untuk memperoleh data berupa jumlah kabel konduktor yang digunakan, lokasi pembumian, pemasangan braket, serta pemasangan surge arrester.
3. Wawancara dengan cara tanya jawab kepada karyawan stasiun pemancar TV untuk memperoleh data berupa, nilai resistansi tanah pembumian, panjang elektroda pembumian, serta kedalaman pemasangan elektroda pembumian.
4. Alat ukur meter digunakan untuk memperoleh data berupa panjang dan lebar bangunan.
5. *Guide* penelitian berupa buku catatan yang berisi tentang daftar hal yang harus diketahui atau ditanyakan pada saat penelitian.

F. Teknik Analisis Data

Analisis data merupakan suatu langkah yang sangat penting dalam keseluruhan penelitian. Data yang terkumpul akan diolah untuk mendapatkan suatu kesimpulan dan hasil penelitian. Agar data tersebut memberikan rangkuman keterangan yang dapat dipakai secara tepat dan teliti maka harus menggunakan teknik analisis data.

Dalam penelitian ini yang digunakan adalah teknik analisis data deskriptif. Teknik analisis data deskriptif adalah suatu cara menggambarkan persoalan yang berdasarkan data yang dimiliki yakni dengan cara menata data tersebut sedemikian rupa sehingga dengan mudah dipahami tentang karakteristik data, dijelaskan dan berguna untuk keperluan berikutnya.

Dalam hal ini analisis data berupa pengolahan data masukan yang telah diperoleh di masukan dalam setiap variable yang digunakan dalam rumus yang ada pada pedoman atau acuan yang digunakan, serta perbandingan antara apa yang ada dilapangan dengan apa yang sesuai dengan standar PUIPP dan standar SNI 03-7015-2004 yang digunakan.

G. Penentuan Kebutuhan Proteksi Berdasarkan PUIPP

Penentuan kebutuhan proteksi ini berdasarkan Hari Guruh dan Tabel 2 mengenai indeks dalam rumus yang terdapat dalam PUIPP, dan dapat diperoleh sebagai berikut:

Tabel 2. Jenis indeks dan kebutuhan proteksi.

Jenis Indeks	Kebutuhan Proteksi
Indeks A	2
Indeks B	0
Indeks C	6
Indeks D	1
Indeks E	6

Maka akan didapatkan indeks bahaya sambaran petir sebagai berikut:

Dengan Persamaan (1) diperoleh nilai $R = 15$. Disini $R > 13$ maka sangat diperlukan proteksi petir dalam bangunan tersebut.

H. Penentuan Kebutuhan Proteksi Berdasarkan PUIPP

Menentukan kebutuhan proteksi petir pada menara stasiun pemancar TV, yaitu:

1. Menghitung kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan.
2. Menghitung area cakupan ekivalen menara Stasiun pemancar TV yang memiliki tinggi 50 meter, panjang 30 meter, dan lebar 20 meter.
3. Menghitung frekuensi sambaran petir langsung yang diperkirakan pada Menara Stasiun Pemancar TV.
4. Menentukan efisiensi dan selanjutnya menentukan tingkat proteksi.

Maka berdasarkan Tabel 1 tentang efisiensi sistem proteksi petir dapat diketahui bahwa menara stasiun pemancar TV memiliki tingkat proteksi III.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan PUIPP dan hasil dari penjumlahan indeks jenis bahaya pada bangunan yang hasilnya perkiraan bahaya akibat sambaran petir (R), yaitu mencapai angka 13. Berdasarkan SNI 03-7015-2004 dari pengolahan data penentuan tingkat proteksi, bangunan stasiun pemancar TV sangat memerlukan proteksi akan gangguan petir, dengan diperolehnya tingkat proteksi III pada penghitungan. Penempatan terminasi udara pada puncak menara berjumlah satu terminasi udara tidak sesuai berdasarkan standar SNI 03-7015-2004, karena dalam penentuan peletakan terminasi udara berdasarkan metode bola bergulir yang terdapat pada standar SNI 03-7015-2004 masih perlu adanya penambahan terminasi udara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardianto, *et al.* "Analisis kinerja sistem proteksi berdasarkan frekuensi gangguan di gardu induk 150 KV Garuda Sakti," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, vol. 4, no. 1, Feb. 2017.
- [2] T. Aryanto, S. Sutarno, and S. Sunardiyo, "Frekuensi gangguan terhadap kinerja sistem proteksi di gardu induk 150 KV Jepara," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, 2013.
- [3] E. Dermawan and D. Nugroho, "Analisa koordinasi over current relay dan ground fault relay di sistem proteksi feeder gardu induk 20 kV Jababeka," *Jurnal Elektum*, vol. 14, no. 2, 2010.
- [4] Jumadi and J. M. Tambunan, "Analisa pengaruh jenis beban listrik terhadap kinerja pemutus daya listrik di Gedung Cyber Jakarta," *Jurnal Energi & Kelistrikan*, vol. 17, no. 1, 2015.
- [5] I W. Jondra, I G. S. Widharma, and I N. Sunaya, "Insulation resistance and breakdown voltage analysis for insulator cover type YSL-70AP," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1450, 2020.

- [6] I G. P. Arka, I N. Mudiana, and I G. N. Sangka, "Analisis pengaruh pemasangan sistem proteksi rele pada keandalan jaringan," *Jurnal Logic*, vol. 15, no. 3, 2015.
- [7] I G. S. Widharma, I N. Sunaya, I G. N. Sangka, and I G. P. Arka, "Analisis sudut perlindungan perisai pada kawat tanah dengan software GeoGEBRA," *Jurnal Matrix*, vol. 10, no. 2, 2018.
- [8] I N. Sunaya, I G. S. Widharma, "Analisis pemasangan kawat tanah terhadap gangguan petir di Penyulang Sempidi," *Jurnal Logic*, vol. 15, no. 2, 2016.
- [9] I G. S. Widharma and I N. Sunaya. "Perbandingan instalasi penerangan terhadap konsumsi daya di area line maintenance bandara," *Jurnal TEKNO*, vol. 19, no. 1, 2019.
- [10] S. Bandri, "Analisa gangguan petir SUTT 150 KV dengan memperhatikan tegangan pada lightning arrester dan trafo," *Jurnal Teknik Elektro ITP*, vol. 4, no. 1, 2015.

Analisis Perbandingan Metode Elbow dan Silhouette pada Algoritma Clustering K-Medoids dalam Pengelompokan Produksi Kerajinan Bali

Dewa Ayu Indah Cahya Dewi¹ , Dewa Ayu Kadek Pramita²

¹Teknik Informatika, STIMIK STIKOM Indonesia

²Sistem Komputer, STIMIK STIKOM Indonesia

cahya.dewi@stiki-indonesia.ac.id

Abstrak: Kerajinan merupakan salah satu bagian dari 14 lini industri kreatif yang cukup potensial mendorong kemajuan perekonomian Indonesia. Potensialnya, lini industri kerajinan menghasilkan data kerajinan berjumlah banyak dan berukuran besar sehingga perlu dilakukan analisis *data mining* dengan teknik pengelompokan data (*clustering*). Penelitian ini menggunakan metode k-medoid untuk mengelompokkan data kerajinan. Untuk menghasilkan hasil pengelompokan data atau *clustering* yang maksimal, perlu penentuan jumlah *cluster* yang tepat. Berbagai metode yang dapat digunakan untuk penentuan jumlah *cluster* yang tepat, yaitu metode *elbow*, koefisien *silhouette*, *gap statistics*, dan lainnya. Penelitian ini membandingkan metode *elbow* dan koefisien *silhouette* untuk menentukan jumlah *cluster* yang tepat sehingga menghasilkan kualitas *cluster* yang optimal. Metode yang digunakan untuk menguji hasil *cluster* adalah metode Davies Bouldin Index (DBI). Hasil pengujian *clustering* dengan metode *elbow* menggunakan nilai DBI menghasilkan nilai DBI sebesar 1,10. Sedangkan pada uji coba *clustering* dengan koefisien *silhouette* menghasilkan nilai DBI sebesar 1,06. Hal ini menunjukkan bahwa hasil *clustering* k-medoid dengan koefisien *silhouette* menghasilkan kualitas *cluster* lebih baik karena memiliki nilai DBI lebih rendah daripada *clustering* k-medoid dengan metode *elbow*. Adapun kebaharuan yang dipaparkan dalam penelitian ini adalah analisis data kerajinan di Bali menggunakan metode k-medoid, koefisien *silhouette* dan metode *elbow*. Belum ada penelitian yang menggunakan perbandingan koefisien *silhouette* dan metode *elbow* untuk memaksimalkan *clustering* k-medoid menggunakan Bahasa R.

Kata kunci: kerajinan, k-medoid, koefisien *silhouette*, metode *elbow*, *davies bouldin index*.

Abstract: *The craft is one of the 14 creative industries lines that potential to advance Indonesia economic. Potentially, the craft industry line produces large number of craft data so that data mining analysis needs to be done with data clustering techniques. This study used the k-medoid method to classify craft data. To produce maximum data grouping or clustering results, it is necessary to determine the right number of clusters. Various methods can be used to determine the right number of clusters, namely the elbow method, silhouette coefficients, gap statistics, etc. This study compared the elbow method and the silhouette coefficient to determine the right number of clusters to produce optimal cluster quality. The method that used to validate cluster result is Davies Bouldin Index (DBI). Cluster test resulted using elbow method produces DBI value of 1.10. Meanwhile cluster test resulted using silhouette coefficient produces DBI value of 1.06. This shows that k-medoid clustering resulted using silhouette coefficient produces better cluster quality because it has DBI value lower than k-medoid clustering using elbow method. The novelty presented in this research is analysis of craft data in Bali using k-medoid method, silhouette coefficient and elbow method. There are no studies that using comparison between silhouette coefficient and elbow method to determine the best number cluster to maximized k-medoid clustering using R programming.*

Keywords: *craft, k-medoid, Silhouette coefficient, elbow method, davies bouldin index.*

I. PENDAHULUAN

Industri kerajinan merupakan salah satu industri unggulan yang memberikan sumbangan cukup besar terhadap pendapatan negara. Semakin banyaknya industri kerajinan yang berkembang sejalan dengan pertumbuhan data kerajinan yang cukup banyak. Data dalam jumlah banyak yang ada selama bertahun-tahun dapat dianalisis sehingga menghasilkan informasi penting yang dapat diolah menjadi pengetahuan menggunakan data mining. Salah satu teknik data mining yang digunakan pada penelitian ini adalah teknik pengelompokan data (*clustering*). Metode *clustering* adalah suatu metode pengelompokan data ke dalam kelas atau *cluster* berdasarkan suatu kemiripan

atribut di antara kelompok data. Berbagai metode yang dapat digunakan dalam mengelompokkan data, yaitu metode k-means, metode k-medoid, metode k-mode, *hierarchical clustering*, dan lainnya. Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Hasil *cluster* yang optimal dapat dipengaruhi oleh metode *clustering* yang digunakan, karakteristik dataset, struktur kepadatan data, ukuran data, jumlah *cluster* yang digunakan. Selain berbagai metode yang digunakan *clustering*, terdapat beberapa metode yang digunakan untuk menentukan jumlah *cluster* yang tepat yaitu metode *elbow* [1], *Partition Entropy* (PE) [2], *GAP Statistics*, *cross validation* [3], koefisien *silhouette*. Masing-masing metode memiliki kelebihan

dan kekurangannya, maka perlu ketepatan dalam memadukan metode *clustering* yang digunakan, metode untuk menentukan jumlah *cluster* yang tepat dan struktur data serta ukuran data. Berdasarkan sifatnya, jenis data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data kuantitatif karena menggunakan data kuantitatif dari Dinas Perdagangan dan Perindustrian Provinsi Bali. Data yang didapatkan disimpan dalam bentuk arsip data excel yang digunakan dalam penyusunan laporan per tahun. Desain penelitian yang akan dirancang adalah analisis data produksi kerajinan dengan teknik *clustering* dengan bahasa R. Pada penelitian ini, metode yang digunakan dalam proses *clustering* adalah metode k-medoid. Alasan pemilihan metode k-medoid dalam penelitian ini karena metode k-medoid cukup baik dalam melakukan proses *clustering* terhadap data yang bersifat *outlier* (pencilan), mengingat data yang didapatkan memiliki data yang tergolong *outlier* karena beberapa data memiliki nilai yang cukup berbeda jauh dari rata-rata nilai data yang ada [4]. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian tahun 2010 oleh Yanne Flowrensia bahwa penggerombolan k-medoid menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan hasil penggerombolan k-means, terutama dalam kondisi proporsi pencilan 5% [5]. Metode *elbow* digunakan untuk menentukan jumlah *cluster* yang terbaik yang dapat digunakan untuk menghasilkan hasil *cluster* yang terbaik dan dapat memaksimalkan kualitas hasil *cluster*. Metode yang digunakan untuk menguji hasil *cluster* adalah metode *Davies Bouldin Index* (DBI). *Davies Bouldin Index* (DBI) merupakan salah satu metode evaluasi internal yang digunakan untuk mengukur evaluasi *cluster* yang didasarkan pada nilai separasi dan kohesi. Kohesi adalah jumlah kedekatan data terhadap pusat *cluster* dari *cluster* yang diikuti. Separasi berupa jarak antara pusat *cluster* dari *cluster*-nya [6]. Beberapa penelitian terkait yang menjadi dasar penelitian penulis adalah sebagai berikut.

Pada penelitian tahun 2017 yang berjudul “*Estimating the Number of Clusters Using Diversity*”, yang dilakukan oleh Suneel Kumar Kingrani membahas perbandingan metode *elbow*, Calinski-Harabasz, *silhouette*, *diversity* dan *gap statistic* dalam menentukan jumlah *cluster* optimal dalam pengelompokan data. Hasil dari penelitian tersebut metode *diversity* lebih akurat dalam menentukan jumlah *cluster* yang paling optimal [7]. Keterkaitan penelitian tersebut dengan penelitian penulis yaitu penggunaan metode *elbow* dan koefisien *silhouette*.

Pada penelitian tahun 2018 yang berjudul “*Pengelompokan data yang memuat pencilan dengan Kriteria Elbow dan Koefisien Silhouette (Algoritma K-Medoids)*”, yang dilakukan oleh Dwi Sari Utami membahas pengelompokan data kasus demam berdarah menggunakan algoritma k-medoids dengan kriteria *elbow* dan validasinya dengan koefisien *silhouette*. Hasil dari penelitian tersebut menghasilkan 3 kelompok dengan nilai koefisien *silhouette* sebesar 0,6409981 [8]. Keterkaitan dengan penelitian tersebut dengan

penelitian penulis yaitu penggunaan metode K-Medoid, metode *elbow* dan koefisien *silhouette*.

Penelitian ini membandingkan metode untuk menentukan jumlah *cluster* yang tepat yaitu metode metode *elbow* dan koefisien *silhouette* pada proses *clustering* k-medoid menggunakan data kerajinan. Hasil *clustering* diuji dengan metode *Davies Bouldin Index* (DBI) untuk menentukan hasil *cluster* yang lebih baik yang ditunjukkan dari membandingkan metode *elbow* dan koefisien *silhouette*.

II. METODE PENELITIAN

A. Data Mining

Data mining adalah kegiatan menggali, mengekstraksi atau menambang pengetahuan dari data yang berjumlah besar sehingga didapatkan pola untuk pengembangan selanjutnya. *Data mining* diperlukan dalam mencari informasi penting dari data yang ada selama bertahun-tahun. Melalui *data mining*, diperoleh tren atau pola-pola penting dari data. Data dalam jumlah besar dapat dianalisis dengan *data mining* [9]. Salah satu teknik *data mining* yang digunakan pada penelitian ini adalah teknik pengelompokan (*clustering*).

B. Clustering

Clustering merupakan suatu proses pengelompokan data/obyek ke dalam kelas atau *cluster* berdasarkan suatu kemiripan atribut – atribut dalam kelompok. *Clustering* merupakan salah satu teknik *data mining*. *Clustering* yang baik jika menghasilkan kelompok yang berisi obyek dengan tingkat kemiripan yang tinggi pada kelompok/*cluster* yang sama tetapi memiliki tingkat kemiripan yang rendah dengan obyek pada *cluster* yang lain.

C. Algoritma K-Medoids

Algoritma K-Medoids juga dikenal sebagai *partitioning around medoids* merupakan salah satu algoritma yang digunakan untuk proses *clustering*. Dalam metode ini, data yang terdiri dari n obyek dipartisi menjadi k *cluster* dimana jumlah $k \leq n$ [10]. Medoids adalah obyek yang dianggap mewakili *cluster* sekaligus sebagai pusat *cluster*. Algoritma k-medoids membentuk suatu *cluster* dengan cara menghitung jarak kemiripan yang dimiliki antara medoid dengan obyek non medoids. Analisis ini meminimumkan ketidaksamaan setiap obyek dalam *cluster* menggunakan nilai *absolute error* (E).

$$E = \sum_{c=1}^k \sum_{i=1}^{n_c} |p_{ic} - O_c| \quad (1)$$

Keterangan:

n_c = banyaknya obyek dalam *cluster* ke- c

p_{ic} = obyek non medoids i dalam *cluster* ke- c

O_c = nilai medoids di *cluster* ke- c

Algoritma k-medoids adalah sebagai berikut:

1. Memilih k obyek menjadi O_c , dengan O_c adalah obyek yang menjadi medoid di *cluster* ke- c dan $c = 1, 2, 3, \dots, k$
2. Menghitung kemiripan antara obyek medoid dengan obyek non-medoid menggunakan jarak euclidean dengan Persamaan 2.

$$d(p, q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + (p_3 - q_3)^2} \quad (2)$$

Keterangan:

d = jarak obyek

p = data

q = centroid

3. Menempatkan obyek non-medoids ke dalam kelompok yang paling dekat dengan medoids Secara acak memilih O_{random} , dengan O_{random} adalah sebuah obyek non-medoids untuk menggantikan O_c awal.
4. Menghitung kemiripan antara obyek non- O_{random} dengan obyek O_{random} menggunakan jarak euclidean.
5. Menempatkan obyek non- O_{random} ke dalam kelompok yang paling mirip dengan O_{random} .
6. Menghitung nilai *absolut error* sebelum dan sesudah pertukaran O_c dengan O_{random} Jika $E_{random} < E_c$ maka tukar O_j dengan O_{random} tetapi jika $E_{random} > E_c$ maka O_c tetap.
7. Mengulangi langkah 4 sampai 7 hingga semua obyek non-medoids terpilih menjadi O_{random} dan tidak terjadi perubahan pada O_c .

D. Metode Elbow

Metode *Elbow* merupakan salah satu metode untuk menentukan jumlah *cluster* yang tepat melalui persentase hasil perbandingan antara jumlah *cluster* yang akan membentuk siku pada suatu titik [1]. Jika nilai *cluster* pertama dengan nilai *cluster* kedua memberikan sudut dalam grafik atau nilainya mengalami penurunan paling besar maka jumlah nilai *cluster* tersebut yang tepat. Untuk mendapatkan perbandingannya adalah dengan menghitung *Sum of Square Error (SSE)* dari masing-masing nilai *cluster*. Karena semakin besar jumlah nilai *cluster* K , maka nilai *SSE* akan semakin kecil. Rumus *SSE* sesuai dengan Persamaan 3.

$$SSE = \sum_{K=1}^K \sum_{X_i} |x_i - c_k|^2 \quad (3)$$

Keterangan:

K = *cluster* ke- c

x_i = jarak data obyek ke- i

c_k = pusat *cluster* ke- i

E. Silhouette Coefficient

Silhouette Coefficient digunakan untuk melihat kualitas dan kekuatan *cluster*, seberapa baik atau buruknya suatu obyek ditempatkan dalam suatu *cluster*. Metode ini merupakan gabungan dari metode separasi dan kohesi [11]. Untuk menghitung nilai *silhouette*

coefficient, diperlukan perhitungan nilai *silhouette index* dari sebuah data ke- i . Nilai *silhouette coefficient* didapatkan dengan mencari nilai maksimal dari nilai *Silhouette Index Global* dari jumlah *cluster* 2 sampai jumlah *cluster* $n-1$, seperti pada Persamaan 4 berikut.

$$SC = \max_k SI(k) \quad (4)$$

Keterangan :

SC = *Silhouette Coefficient*

SI = *Silhouette Index Global*

k = jumlah *cluster*

Untuk menghitung nilai SI dari sebuah data ke- i , ada 2 komponen yaitu a_i dan b_i . Nilai a_i adalah rata-rata jarak ke- i terhadap semua data lainnya dalam satu *cluster*, sedangkan b_i didapatkan dengan menghitung rata-rata jarak data ke- i terhadap semua data dari *cluster* lainnya yang tidak satu *cluster* dengan data ke- i , lalu diambil yang terkecil [12]. Berikut Persamaan 5 untuk menghitung nilai a_i^j .

$$a_i^j = \frac{1}{m_j - 1} \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq i}}^{m_j} d(x_i^j, x_r^j) \quad (5)$$

Keterangan :

j = *cluster*

i = index data ($i = 1, 2, \dots, m_j$)

a_i^j = rata-rata jarak data ke- i terhadap semua data dalam satu *cluster*

M_j = jumlah data dalam *cluster* ke- j

$d(x_i^j, x_r^j)$ = jarak data ke- i dengan data ke- r dalam satu *cluster* j .

Berikut ini adalah rumus perhitungan mendapatkan nilai b_i^j dapat dilihat pada Persamaan 6.

$$b_i^j = \min_{\substack{n=1, \dots, k \\ n \neq j}} \left\{ \frac{1}{m_n} \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq i}}^{m_n} d(x_i^j, x_r^n) \right\} \quad (6)$$

Keterangan :

j = *cluster*

i = index data ($i = 1, 2, \dots, m_j$)

b_i^j = rata-rata jarak data ke- i terhadap semua data yang tidak dalam satu *cluster* dengan data ke- i

M_n = jumlah data dalam *cluster* ke- n

$d(x_i^j, x_r^n)$ = jarak data ke- i dengan data ke- j dalam satu *cluster* n .

Berikut ini adalah rumus perhitungan mendapatkan nilai SI_i^j dapat dilihat pada Persamaan 7.

$$SI_i^j = \frac{b_i^j - a_i^j}{\max \{ a_i^j, b_i^j \}} \quad (7)$$

Keterangan :

SI_i^j = *Silhouette Index* data ke- i dalam satu *cluster*

b_i^j = rata-rata jarak data ke- i terhadap semua data yang tidak dalam satu *cluster* dengan data ke- i

a_i^j = rata-rata jarak data ke- i terhadap semua data dalam satu *cluster*

Berikut ini adalah rumus perhitungan mendapatkan nilai SI_j dapat dilihat pada Persamaan 8.

$$SI_j = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} SI_i^j \quad (8)$$

Keterangan :

SI_j = Rata-rata *Silhouette Index cluster j*

SI_i^j = *Silhouette Index* data ke- i dalam satu *cluster*

M_j = jumlah data dalam *cluster* ke- j

i = index data ($i = 1, 2, \dots, m_j$)

Berikut ini adalah rumus perhitungan mendapatkan nilai SI global sesuai dengan Persamaan 9.

$$SI = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k SI_j \quad (9)$$

Keterangan :

SI = Rata-rata *Silhouette Index* dari dataset

SI_j = Rata-rata *Silhouette Index cluster j*

k = jumlah *cluster*

Kriteria subjektif pengukuran pengelompokkan berdasarkan *Silhouette Coefficient (SC)* menurut Kauffman dan Roesseeuw (1990) [13], dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria pengukuran *silhouette coefficient*.

Nilai SC	Kriteria
0,71 – 1,00	Struktur kuat
0,51 – 0,70	Struktur baik
0,26 – 0,50	Struktur lemah
$\leq 0,25$	Struktur buruk

F. Metode Davies Bouldin Index

Davies Bouldin Index (DBI) merupakan metode untuk mengecek hasil *clustering*. Pendekatan pengujian nilai DBI berupa nilai separasi dan kohesi. Kohesi berupa jumlah dari kemiripan data terhadap pusat *cluster* dari *cluster* tersebut. Separasi adalah jarak antara pusat *cluster* dari *cluster*. *Cluster* yang optimal adalah *cluster* yang memiliki nilai separasi yang tinggi dan nilai kohesi yang rendah [6]. Nilai Davies Bouldin Index (*DBI*) yang semakin mendekati nilai 0 menandakan semakin baik *cluster* yang diperoleh. Semakin rendah nilai DBI menunjukkan hasil *cluster* yang optimal.

Sum of square within cluster (SSW) adalah Persamaan untuk mengetahui matrik kohesi dalam sebuah *cluster* ke- i yang dapat dilihat pada Persamaan 10.

$$SSW_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=i}^{m_i} d(x_j, c_i) \quad (10)$$

Keterangan :

m_i = jumlah data dalam *cluster* ke- i

c_i = centroid *cluster* ke- i

$d(x_j, c_i)$ = jarak euclidean setiap data ke centroid

Sum of square between cluster (SSB) adalah persamaan untuk mengetahui nilai separasi antara *cluster* yang dapat dilihat pada Persamaan (11).

$$SSB_{i,j} = d(c_i, c_j) \quad (11)$$

Keterangan :

$d(c_i, c_j)$ = jarak antar centroid

Setelah nilai separasi dan kohesi diperoleh, lalu dilakukan pengukuran rasio (R_{ij}) untuk mengetahui nilai perbandingan antara *cluster* ke- i dan *cluster* ke- j , sesuai dengan Persamaan (12).

$$R_{i,j} = \frac{SSW_i + SSW_j}{SSB_{i,j}} \quad (12)$$

Persamaan untuk menghitung nilai Davies Bouldin Index (*DBI*) sesuai dengan Persamaan 13.

$$DBI = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^k \max_{i \neq j} (R_{i,j}) \quad (13)$$

Keterangan :

k = jumlah *cluster* yang digunakan

Semakin rendah nilai Davies Bouldin Index (*DBI*) yang diperoleh, maka semakin baik kualitas *cluster* yang diperoleh dari suatu *clustering* data.

G. Pengumpulan Data

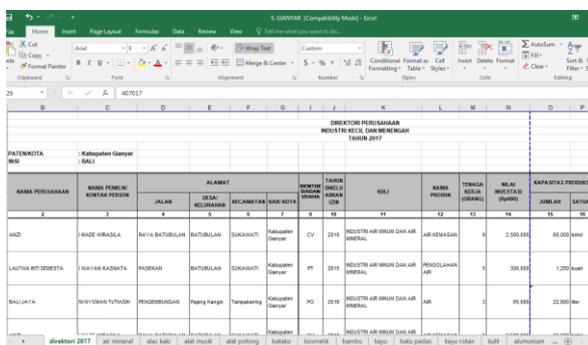
Sebelum proses *clustering* dilakukan, maka data perlu disiapkan ke tahap *preprocessing* data terlebih dahulu. Tahap *preprocessing* data berupa tahap persiapan data digunakan untuk melakukan proses integrasi data, transformasi dan reduksi data sehingga data yang didapatkan bersih dan bebas dari *noise*. Variabel data sekunder yang didapatkan dari Dinas Perindustrian dan Perdagangan berbentuk excel terdiri dari nama perusahaan, pemilik perusahaan, alamat perusahaan, kabupaten perusahaan, nama produk, jumlah tenaga kerja, Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia (KBLI), nilai investasi, nilai produksi, biaya bahan baku, dan persentase ekspor. Sedangkan untuk proses *clustering*, variabel yang digunakan hanya terdiri dari jumlah tenaga kerja, nilai investasi, nilai produksi, biaya bahan baku, dan persentase ekspor. Data yang digunakan dalam penelitian menggunakan data dari Dinas Perindustrian dan Perdagangan tahun 2017, berjumlah 5574 buah data industri kerajinan. Berikut pada Tabel 2 adalah variabel-variabel yang

terdapat pada data mentah yang berasal dari Dinas Perindustrian dan Perdagangan:

Tabel 2. Variabel mentah Disperindag.

Nama Perusahaan	Nilai Investasi
Nama pemilik	Nilai produksi
Alamat	Biaya bahan baku
Bentuk badan usaha	Kapasitas produksi
KBLI	Persentase Ekspor
Nama produk	Tenaga Kerja

Sedangkan pada proses *clustering*, tidak semua variable pada data mentah yang diperlukan dan pada data mentah data kerajinan terletak pada *sheet* berbeda-beda tiap kabupaten. Untuk ini perlu dilakukan proses *preprocessing* dengan mereduksi beberapa variabel yang tidak dibutuhkan untuk proses *clustering* yang disimpan dalam file CSV.



Gambar 1. Data mentah.

Setelah tahap *preprocessing* dilakukan, maka akan didapatkan hasil data yang siap untuk di *clustering*. Setelah dilakukan proses reduksi variabel maka akan muncul hasil *preprocessing* seperti Gambar 2. Disini terlihat bahwa variabel/atribut data yang digunakan yaitu nama perusahaan, jumlah tenaga kerja, nilai investasi, nilai produksi, biaya bahan baku dan persentase ekspor.

NAMA PERUSAHAAN	TENAGA KERJA (ORANG)	NILAI INVESTASI (Rp.000)	JUMLAH PRODUKSI	NILAI PRODUKSI (Rp.000)	NILAI BB BP (Rp.000)	% PEMASARAN EKSPOR
BANYAN INTERNASIONAL	31	124,997	500	975,000	65,000	70
LETUNG SILVER	4	125,000	4	325,000	162,500	-
KERIS PUSAKA	2	34,000	360	25,000	12,500	-
BALI SAKTI SILVER	33	172,400	99,000	1,039,500,000	475,200,000	90
UBUD CORNER	32	179,193	500	675,000	65,000	70
EKA HALLO	4	94,961	350	300,000	30,000	70
BALI SILVER TRASURES	8	247,000	260	400,000	150,000	70
PURNAMA SARI LBN	165	1,901,350	7,000	560,000	140,000	80
BANGKIT JAYA KASTING	12	170,000	120,000	100,000	85,000	-
NILO KRIYA INDAH	23	278,000	240,000	200,000	160,000	70
BALI SAKTI SILVER	8	280,325	2,000	1,200,000	600,000	-
UMA AYU GOLD END SMITH	7	18,410	1,920	86,400	38,880	70
ALAM PERMATA	4	50,000	3,000	75,000	35,000	-

Gambar 2. Data dan variabel *clustering*.

Teknik pengumpulan data digunakan untuk mendapatkan data, fakta maupun informasi yang berguna dan terkait dengan penelitian. Teknik pengumpulan data yang penulis lakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Studi Literatur merupakan pengumpulan data sekunder dan informasi melalui berbagai sumber

pustaka meliputi buku, artikel, jurnal, internet dan lain sebagainya.

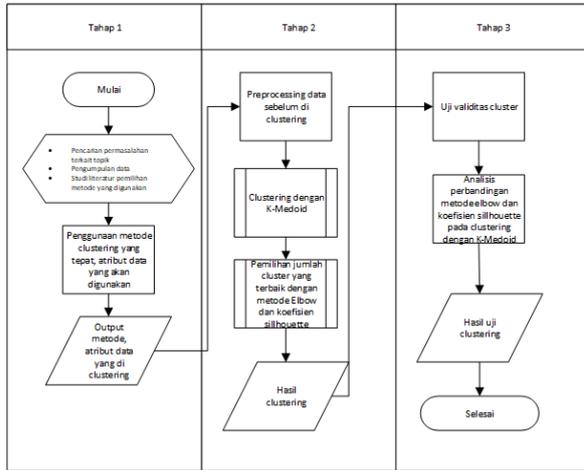
2. Dokumen merupakan pengumpulan data sekunder melalui berbagai data yang telah dikumpulkan dan dimiliki oleh pihak tertentu. Pada penelitian ini penulis menggunakan data usaha kerajinan Disperindag Bali yang berbentuk file Excel. Data digolongkan berdasarkan beberapa kategori yaitu data per kabupaten di Bali dan data per jenis kerajinan.
3. Observasi dilakukan dengan melakukan pengamatan secara langsung. Pada penelitian ini observasi dilakukan pada variabel yang terdapat pada data usaha kerajinan disperindag Bali dan pengamatan langsung untuk mendapatkan data kuantitatif hasil pengelompokkan data melalui R studio. Variabel data usaha kerajinan disperindag Bali meliputi nama usaha, alamat usaha, tahun berdiri, nama pemilik usaha, bentuk perusahaan, jenis usaha kerajinan, jumlah tenaga kerja, jumlah investasi, jumlah bahan baku, jumlah produksi, persentase ekspor.

H. Alur Penelitian

Alur penelitian merupakan tahapan atau prosedur dalam melakukan perancangan. Alur penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan seperti berikut:

1. Tahap 1
Alur penelitian yang dilakukan pada tahap 1 adalah mencari permasalahan yang ada terkait topik yang akan diteliti dengan melakukan observasi dan mencari data yang akan digunakan untuk proses analisis, pemilihan metode yang akan digunakan untuk melakukan proses analisis serta studi literatur dan pengumpulan data yang terkait dengan analisis data dengan menggunakan K-Medoids untuk *clustering* data, metode *elbow*, koefisien Silhouette untuk menentukan jumlah *cluster* terbaik.
2. Tahap 2
Alur penelitian yang dilakukan pada tahap 2 adalah menerapkan konsep *preprocessing* data sebelum data di *clustering*, selanjutnya dilakukan *clustering* sejumlah *k cluster* untuk membentuk pola data dengan menggunakan metode K-Medoid, analisis dengan metode *elbow* dan koefisien silhouette sehingga didapatkan kombinasi *cluster* yang terbaik, import data ke dalam R studio, membuat pengolahan data *clustering* dengan Bahasa R.
3. Tahap 3
Alur penelitian yang dilakukan pada tahap ini adalah melakukan analisa terhadap hasil pengolahan data dan laporan yang dihasilkan, melakukan perhitungan validitas *cluster* dengan membandingkan data hasil *cluster* lainnya serta mengetahui nilai validitas *cluster*.

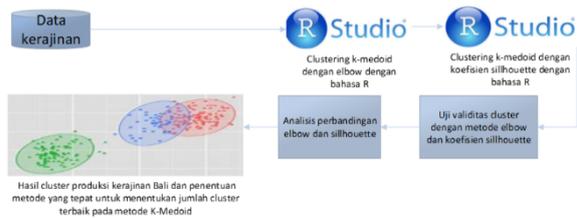
Diagram alur penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Flowchart alur penelitian.

I. Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini membahas perbandingan metode *elbow*, koefisien *silhouette* dan gabungan dari metode *elbow* dan koefisien *silhouette* dalam menentukan jumlah *cluster* optimal pada *clustering* data kerajinan dengan algoritma *k-medoid*.



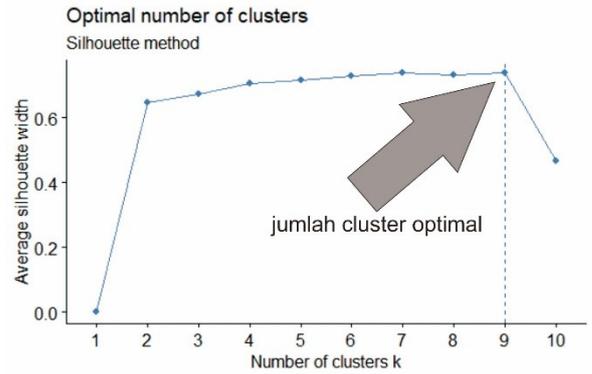
Gambar 4. Gambaran umum penelitian.

Gambar 4 menjelaskan tentang gambaran umum sistem dari analisa Perbandingan Metode *Elbow* dan *Silhouette* pada Pengelompokan Produksi Kerajinan Bali dengan Bahasa R. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan data dari Disperindag Bali. Setelah data didapatkan, selanjutnya menuju ke langkah kedua yaitu data *preprocessing*. Langkah ketiga adalah melakukan uji coba *clustering* pada R studio, lalu melakukan analisis hasil *cluster* sehingga didapatkan metode yang tepat pada proses *clustering k-medoid*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Clustering Metode K-medoid dan Silhouette Coefficient dengan 100 Data

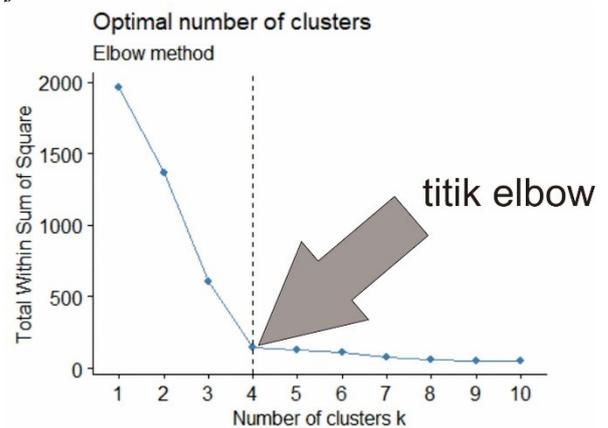
Pada pengelompokan data kerajinan sebanyak 100 data menggunakan koefisien *silhouette* sebagai metode penentu dalam jumlah *cluster* optimal pada *clustering* K-Medoid menunjukkan hasil berupa jumlah *cluster* optimal sebanyak 9 *cluster*. Hal tersebut terlihat karena nilai *silhouette* tertinggi terletak pada jumlah *cluster* sebanyak 9 *cluster* dengan nilai rata-rata *silhouette* sebesar 0,727. Hal tersebut berdasarkan menandakan jumlah *cluster* yang optimal sebanyak 9 *cluster* berdasarkan nilai rata-rata *silhouette* yang paling tinggi yang mendekati nilai 1 [14].



Gambar 4. Penentuan jumlah *cluster* terbaik dengan 100 data menggunakan *silhouette*.

B. Clustering Metode K-Medoid dan Metode Elbow dengan 330 Data

Pada bagian ini akan dilakukan uji coba untuk menentukan jumlah *cluster* yang tepat berdasarkan nilai *SSE* (*Sum of Square Error*) yang mengalami penurunan drastis. Semakin besar nilai *SSE*, semakin berkurang kualitas *cluster*, begitu sebaliknya. Semakin kecil nilai *SSE*, semakin baik kualitas *cluster* [15]. Pada Gambar 5 terlihat bahwa terlihat pada saat jumlah *cluster* $k=1$ menunjukkan nilai *SSE* paling tinggi, lalu saat jumlah *cluster* $k=2$ nilai *SSE* mengalami penurunan signifikan. Saat jumlah *cluster* $k=3$ nilai *SSE* mengalami penurunan kembali, begitu juga seterusnya sampai jumlah *cluster* $k=10$ mengalami penurunan juga. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat jumlah *cluster* yang membentuk siku terlihat jelas saat jumlah *cluster* $k=4$, sedangkan pada jumlah *cluster* $k=5$ hingga $k=10$ terlihat mulai stabil, maka ditetapkan siku terletak pada jumlah *cluster* $k=4$.



Gambar 5. Penentuan jumlah *cluster* terbaik dengan 330 data menggunakan *elbow*.

C. Hasil Perbandingan Metode

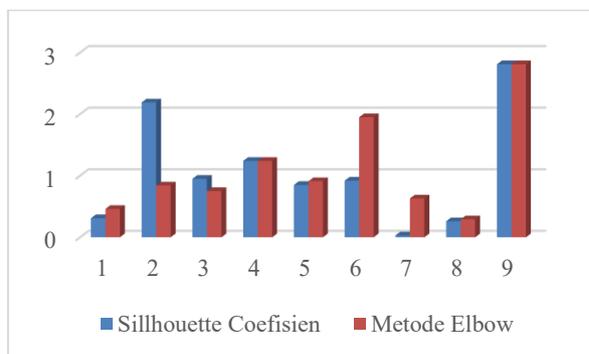
Metode pengujian hasil *clustering* tergolong baik atau kurang baik dapat dinilai dari salah satu metode validitas *cluster*. Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk menguji hasil *cluster* adalah metode Davies Bouldin Index (DBI). Dengan menggunakan DBI suatu *cluster* akan dianggap memiliki hasil

clustering yang optimal jika memiliki DBI minimal [16].

Tabel 3. Perbandingan metode *elbow* dan *Silhouette coeff.*

Nama Daerah	Jml. Data	Metode			Nilai DBI
		<i>Silhouette Coefficient</i>	DBI	Metode <i>Elbow</i>	
Tabanan	40	2 cluster	0,31	5 cluster	0,46
Buleleng	65	2 cluster	2,19	5 cluster	0,84
Jembrana	100	9 cluster	0,95	5 cluster	0,75
Karangasem	228	7 cluster	1,24	7 cluster	1,24
Badung	245	4 cluster	0,85	5 cluster	0,91
Klungkung	320	3 cluster	0,92	5 cluster	1,95
Denpasar	330	2 cluster	0,03	4 cluster	0,63
Gianyar	900	2 cluster	0,26	5 cluster	0,29
Bangli	3346	3 cluster	2,81	3 cluster	2,81
Total	5574	Rata-rata DBI	1,06	Rata-rata DBI	1,10

Tabel 3 menunjukkan jumlah data industri kerajinan di Bali tahun 2017 berjumlah 5574 buah yang tersebar di masing-masing kabupaten. Pada Tabel 3 menunjukkan nilai DBI pada proses *clustering* K-Medoid dengan *silhouette coefficient* rata-rata sebesar 1,06 memiliki nilai DBI rendah dibandingkan nilai DBI pada proses *clustering* K-Medoid dengan metode *elbow* sebesar 1,10. Kualitas *cluster* yang dihasilkan proses *clustering* K-Medoid dengan *silhouette coefficient* lebih baik terlihat dari rendahnya nilai DBI. Pada gambar 6 ditunjukkan nilai DBI lebih rendah dengan kualitas *cluster* optimal pada proses *clustering* K-Medoid dengan *silhouette coefficient* pada data uji ke-1 yaitu daerah Tabanan dengan jumlah data 40 buah, data uji ke-5 yaitu daerah Badung, data uji ke-6 yaitu daerah Klungkung, data uji ke-7 yaitu kota Denpasar dan data uji ke-8 yaitu daerah Gianyar.



Gambar 6. Grafik nilai DBI dengan 9 data uji.

Nilai DBI lebih rendah didapatkan pada proses *clustering* K-Medoid dengan metode *elbow* pada data uji ke-2 yaitu daerah Buleleng dan data uji ke-3 yaitu daerah Jembrana. Hal ini menandakan kualitas *cluster* yang dihasilkan lebih baik pada 2 data uji tersebut.

Rata-rata nilai DBI pada proses *clustering* K-Medoid dengan *silhouette coefficient* lebih rendah bila dibandingkan dengan *clustering* K-Medoid dengan metode *elbow*. Hal ini menunjukkan bahwa hasil *clustering* K-Medoid dengan *silhouette coefficient* menghasilkan jumlah *cluster* lebih baik dari pada

clustering K-Medoid dengan metode *elbow* berdasarkan pengujian menggunakan nilai DBI.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perbandingan metode *elbow* dan *Silhouette* pada algoritma *clustering* k-medoids dalam pengelompokan produksi kerajinan Bali, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

Daerah Bangli merupakan daerah paling banyak yang memiliki usaha industri kerajinan. Jumlah industri kerajinan Provinsi Bali tahun 2017 sebanyak 5574. Pada proses *clustering* K-Medoid dengan metode *silhouette coefficient* menunjukkan hasil yang lebih baik. Hal tersebut ditunjukkan pada nilai DBI pada proses *clustering* K-Medoid dengan *silhouette coefficient* rata-rata sebesar 1,06 memiliki nilai DBI rendah dibandingkan nilai DBI pada proses *clustering* K-Medoid dengan metode *elbow* sebesar 1,10.

Penerapan metode *elbow* dalam menentukan jumlah *cluster* terbaik pada proses *clustering* K-Medoid menunjukkan nilai DBI yang lebih tinggi, hal ini tidak menentukan bahwa metode *elbow* bekerja kurang baik. Pada beberapa penelitian metode *elbow* dapat menentukan jumlah *cluster* terbaik pada proses *clustering* dengan metode K-Means dengan optimal.

Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangannya, maka perlu ketepatan dalam memadukan metode *clustering* yang digunakan, metode untuk menentukan jumlah *cluster* yang tepat dan struktur data serta ukuran data dengan memaksimalkan kelebihan setiap metode yang ada.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat STMIK STIKOM Indonesia atas hibah penelitian yang telah diterima oleh peneliti sehingga peneliti dapat melakukan penelitian hingga terbitnya makalah ilmiah ini. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada Dinas Perdagangan dan Perindustrian Provinsi Bali dan semua pihak di STMIK STIKOM Indonesia atas segala dukungannya dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Putu, E. Merliana, and A. J. Santoso, "Analisa penentuan jumlah cluster terbaik pada metode K-Means," *Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu*, pp. 978–979.
- [2] J. C. Bezdek, *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms*, United State: Kluwer Academic Publishers, 1981.
- [3] W. Fu and P. O. Perry, "Estimating the number of clusters using cross-validation," *J. Comput. Graph. Stat.*, 2019.
- [4] M. A. Syakur, B. K. Khotimah, E. M. S. Rochman, and B. D. Satoto, "Integration K-Means clustering method and elbow method for identification of the best customer profile cluster," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018.

- [5] Y. Flowrensia, I. Sumertajaya, and L. Rahman, *Perbandingan penggerombolan k-means dan k-medoid pada data yang mengandung pencilan*, Bogor: Central Library of Bogor Agricultural University, 2010, pp. 1–9.
- [6] Wirawan, M. F. Fahmi, and Y. K. Suprpto, “Segmentation and distribution of watershed using K-Modes clustering algorithm and davies-bouldin Index based on geographic information system (GIS),” in *Proceedings 2016 International Seminar on Application of Technology for Information and Communication, ISEMANTIC 2016*, 2017.
- [7] S. K. Kingrani, M. Levene, and D. Zhang, “Estimating the number of clusters using diversity,” *Artif. Intell. Res.*, vol. 7, no. 1, 2017.
- [8] D. S. Utami, D. Retno, and S. Saputro, “Pengelompokan data yang memuat pencilan dengan kriteria elbow dan koefisien,” *KNPMP III 2018*, pp. 448–456, 2018.
- [9] U. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, and P. Smyth, “From data mining to knowledge discovery in databases,” *AI Mag.*, 1996.
- [10] J. Han, M. Kamber, and J. Pei, “Data preprocessing,” in *Data Mining*, 2012.
- [11] T. M. Kodinariya and P. R. Makwana, “Review on determining number of cluster in K-Means clustering,” *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Manag. Stud.*, vol. 1, no. 6, 2013.
- [12] S. Petrovic, “A comparison between the silhouette index and the davies-bouldin index in labelling IDS clusters,” in *11th Nordic Workshop on Secure IT-systems*, 2006.
- [13] L. Kaufman and P. J. Rousseeuw, *Finding groups in data: An introduction to cluster analysis*, USA: Wiley Series in Probability and Statistics, 1990.
- [14] I. Wahyuni, Y. A. Auliya, A. Rahmi, and W. F. Mahmudy, “Clustering nasabah bank berdasarkan tingkat likuiditas menggunakan hybrid PSO K-Means,” *Jitika*, vol. 10, no. 1, 2016.
- [15] I. P. A. Pratama and A. Harjoko, “Penerapan algoritma invasive weed optimization untuk penentuan titik pusat klaster pada K-Means,” *Indonesian J. Comput. Cybern. Syst. (IJCCS)*, vol. 9, no. 1, 2015.
- [16] I. Kamila, U. Khairunnisa, and Mustakim, “Perbandingan algoritma K-Means dan K-Medoids untuk pengelompokan data transaksi bongkar muat di Provinsi Riau,” *J. Ilmu Rekayasa dan Manaj. Sist. Inf.*, vol. 5, no. 1, 2019.

Pengaruh Penggunaan Pendingin Air Terhadap Output Panel Surya Pada Sistem Tertutup

Ida Bagus Gde Widiantara[✉], Nyoman Sugiarta

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

[✉]bagusgdewidiantara@pnb.ac.id

Abstrak: Energi surya adalah sebuah sumber energi yang tidak terbatas ketersediaannya, ramah lingkungan dan di Indonesia persediaannya sangat melimpah. Radiasi matahari di Indonesia rata-rata 4,8 kWh per meter persegi/hari tetapi kapasitas terpasang pada saat ini adalah 16,02 MW dan pemerintah menargetkan menjadi 6,4 GW tahun 2025. Salah satu kendala dalam penerapan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah rendahnya efisiensi dari panel surya serta kendala dalam penyimpanannya agar dapat dipergunakan pada malam hari. Pancaran energi matahari tidak seluruhnya diubah menjadi energi dimana terdapat pula energi panas. Melihat efektifitas panel surya bekerja pada suhu 25 derajat Celcius maka timbul keinginan untuk memanfaatkan panas lebih yang dihasilkan dengan mendinginkan panel surya dengan menyemprotkan air pada bagian bawah permukaannya. Hasil pengujian di dalam ruangan menunjukkan bahwa rancangan berjalan dengan baik dan diperoleh peningkatan daya luaran panel sebesar 4 W pada intensitas cahaya lampu 1000 W per meter persegi sedangkan pada intensitas cahaya yang lebih kecil yaitu 600 W per meter persegi, menunjukkan penurunan daya luaran panel sebesar 1 W. Melihat hasil tersebut penggunaan pendingin pada panel surya belum efektif karena terdapat penggunaan daya listrik untuk menghidupkan sistem pendingin sebelum panel surya mulai digunakan untuk mencapai suhu permukaan panel surya sebesar 25 derajat Celcius.

Kata kunci: energi surya, pembangkit listrik tenaga surya, pendinginan

Abstract: Solar energy is a renewable energy that is not limited to availability, environmentally friendly and in Indonesia is very abundant. Solar radiation in Indonesia averages 4.8 kWh per square meter /day but the installed capacity at present is 16.02 MW and the government is targeting to be 6.4 GW by 2025. One of the obstacles in applying solar power plant is the low efficiency of solar panels itself and constraints in storage so that it can be used at night. The radiant of solar energy is not entirely converted into energy where there is also thermal energy because the effectiveness of solar panel working is 25 degree Celcius. Hence, there are a desire to utilize the more heat generated by cooling the solar panel by spraying water on the bottom surface of the solar panel. The indoor test results show that the design went well and obtained an increase in output power of 4 W at a light intensity of 1000 W per square meter with cooling whereas at a smaller light intensity of 600 W per square shows a decrease of power by 1 W in the solar panel output. From these results, it seems that the use of cooling in solar panel is less useful due to the electrical power usage to turn on the cooling system before running the solar panel to achieve a surface temperature of 25 degree Celcius.

Keywords: cooling, solar energy, solar power plant

I. PENDAHULUAN

Energi surya adalah sebuah sumber energi yang relatif tidak terbatas ketersediaannya, ramah lingkungan dan energi ini dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif yang akan diubah menjadi energi listrik. Menurut BPPT [1] Indonesia berada di daerah khatulistiwa dengan radiasi matahari rata-rata 4,8 kWh/m²/hari memiliki potensi yang besar untuk penerapan PLTS. Potensi ini setara dengan kapasitas PLTS sebesar 112.000 GWp. Namun menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) kapasitas PLTS yang terpasang di Indonesia masih sangat kecil, yaitu baru mencapai 16,02 MW sampai dengan tahun 2016, sedangkan target penerapan PLTS oleh Kementerian ESDM adalah 6,4 GW pada tahun 2025 [2]. Untuk itu peluang untuk penerapan instalasi PLTS oleh masyarakat luas dan industri sangatlah terbuka. Melihat peluang tersebut, Politeknik Negeri Bali juga telah memasukkan dalam Rencana

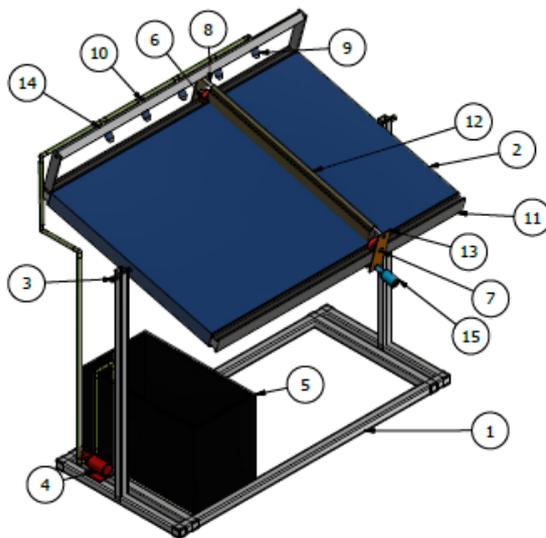
Induk Penelitian Politeknik Negeri Bali 2016-2020 [3] sebagai salah satu isu strategis dalam bidang keilmuan teknik adalah: "Teknologi berkelanjutan dengan energi baru dan terbarukan" dalam hal ini mengoptimalkan energi panas matahari yang ada di Indonesia.

Panel surya rata-rata mempunyai efektifitas kerja yang baik pada suhu 25 °C (sumber spesifikasi panel) sedangkan suhu rata-rata di Indonesia berkisar antara 30-35 °C. Mengingat hal tersebut perlu adanya pendinginan untuk menjaga efektifitas kerja panel surya. Dari penelitian terdapat beberapa variabel yang dapat direncanakan untuk mengoptimalkan penggunaan panel surya seperti pengaruh pendinginan panel surya pada sistem tertutup dengan pendingin air, analisis panas air pendingin serta pemanfaatan panas air pendinginan pada panel surya serta kemungkinan-kemungkinan lain mengingat suhu yang terlalu panas pada permukaan panel surya justru akan mengurangi kinerja dari panel surya atau yang sering disebut efek termal [4].

A. State of the Art

Gambar 1 menunjukkan skematik rancang bangun purwarupa sistem pembersih dan pendingin panel surya yang terintegrasi dalam sistem PLTS *off-grid*. Sistem PLTS *off-grid* memiliki komponen utama, yaitu panel surya dan *balance of system* (BOS) seperti: *solar charge controller* (SCC), baterai dan DC/AC *inverter*.

Dalam penelitian ini, sistem pendingin panel surya dilengkapi juga dengan sistem pembersih (*wiper* sebagai piranti pembersih panel) dimana sistem pembersih ini dikerjakan dalam penelitian lain (Gambar 1). Dengan kata lain sistem pembersih dan pendingin yang dirancang merupakan sebuah rancang bangun secara terintegrasi dengan berfungsi secara semi otomatis. Sistem sirkulasi air adalah tertutup yang terdiri dari pompa, *check valve*, *stop valve*, pemipaan atau selang, tangki penyimpanan air dan filter. Air kotor yang bercampur dengan debu dari hasil pembersihan ditampung dan disalurkan kembali ke tangki penyimpanan air setelah sebelumnya dilewatkan pada sebuah filter. Deretan nosel jet dipasang di bawah panel dan menyemprotkan air tegak lurus terhadap panel surya.



Gambar 1. Skematik rancangan sistem pendingin panel surya

Keterangan:

No	Jumlah	Deskripsi
1	1	Dinamo
2	1	Dudukan Spray
3	2	Penyangga Roda
4	1	Pembersih Panel
5	2	Rel
6	1	Selang
7	5	Spray
8	1	Karet Wiper
9	4	As Roda
10	4	Roda
11	1	Supply
12	1	Pompa
13	1	As Panel
14	1	Panel
15		Rangka

Pembersihan dan pendinginan permukaan panel surya secara teratur merupakan salah satu strategi operasional pada sistem PLTS untuk meningkatkan daya luaran dan efisiensi sistem. Abdolzadeh dan Ameri [5] mengembangkan sistem pendinginan untuk permukaan atas panel surya menggunakan sistem semprot (*spray*). Mereka menggunakan panel surya tipe *polycrystalline* (45×2 W) dengan efisiensi 13,5 % dan sebuah pompa air dengan motor DC permanen. Daya yang dihasilkan panel surya juga digunakan untuk menggerakkan motor pompa yang memiliki kapasitas maksimum 1000 L/h dan *head* maksimum 45 m untuk memompakan air dari tangki. Untuk menyemprotkan air pada bagian atas maka sebuah pipa dengan lubang-lubang kecil ditempatkan pada bagian atas panel surya dan pada bagian bawah panel dengan menggunakan nosel sebagai alat penyemprotnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan semprotan air pada permukaan atas panel surya maka efisiensi panel surya, subsistem dan total meningkat sebesar 3,26 %, 1,4 % dan 1,35 % dengan *head* pompa 16 m.

Sementara itu Rahimi *et al.* [6] menggunakan dua jenis *micro-channel* yaitu dengan *header* tunggal dan *multi header* dengan diameter hidrolis yang sama untuk mengalirkan air pendingin pada permukaan bawah panel surya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa temperatur rata-rata panel surya pada *header* tunggal lebih tinggi dibandingkan dengan pada *multi header*. Sedangkan pelepasan panas pada *multi header* lebih tinggi 19% jika dibandingkan dengan *header* tunggal. Schiro *et al.* [7] mengembangkan sebuah model *steady-state* sebuah sistem penyemprotan air untuk mendinginkan panel surya dan melakukan pengujian eksperimental. Mereka menggunakan sebuah panel surya kapasitas 220 W berukuran 1,6 m², satu pipa distribusi dengan 7 buah nosel dan sistem pemompaan air dengan tangki. Penyemprotan hanya dilakukan pada bagian permukaan atas panel surya. Dengan berdasarkan tipe nosel, posisi nosel dan laju aliran air maka fenomena pecahnya lapisan *film* air, konsentrasi aliran lokal air dan pembentukan *droplet* lokal dapat diamati dan hasil terbaik yang diperoleh adalah dengan menempatkan 9 buah nosel dan sudut sebaran air 90⁰ dengan total aliran air sebesar 0,09 L/(s.m²).

Smith *et al.* [8] menggunakan sistem pemompaan air untuk membersihkan dan mendinginkan panel surya. Mereka menggunakan sebuah *head emitter* yang diletakkan di atas panel surya untuk menyemprotkan air. Dengan cara ini temperatur panel dapat dipertahankan di bawah 40 °C. Di samping peningkatan efisiensi, permukaan panel yang bersih juga diperoleh dengan menggunakan teknik ini. Niz'etic' *et al.* [4] menggunakan teknik semprotan air pada kedua sisi panel surya secara simultan. Peningkatan daya luaran dan efisiensi panel surya masing-masing sebesar 16,3 % dan 14,1 % diperoleh pada kondisi radiasi matahari maksimum sedangkan penurunan temperatur panel adalah dari 54 °C menjadi 24 °C. Baloch *et al.* [9] mengembangkan sistem pendinginan inovatif

menggunakan penukar kalor dengan saluran konvergen pada bagian bawah panel surya. Mereka menemukan bahwa sudut konvergensi saluran sebesar 2° memberikan distribusi temperatur dan temperatur rata-rata panel surya yang terbaik. Daya luaran dan efisiensi meningkat sebesar 35,5 % dan 36,1 % dan temperatur panel menurun dari 48,3 °C menjadi 36,4 °C. Di samping itu biaya energi berkurang hingga 19 %.

B. Komponen Sistem Panel Surya

Berikut adalah komponen kelistrikan sistem panel surya:

1. Modul panel surya
Panel surya atau *solar cells* adalah komponen utama pada pembangkit listrik tenaga surya. *Solar cells* berfungsi untuk merubah tenaga matahari menjadi listrik. Tanpa komponen ini energi listrik tidak dapat dihasilkan.
2. Solar Charge Controller (SCC)
Solar charge controller adalah komponen di dalam sistem PLTS berfungsi sebagai pengatur arus listrik (*current regulator*) baik terhadap arus yang masuk dari panel maupun arus keluar atau arus yang digunakan. Bekerja untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan (*overcharge*), ini mengatur tegangan dan arus dari panel surya ke baterai. Fungsi dan fitur *solar charge controller* sebagai berikut: Saat tegangan pengisian di baterai telah mencapai keadaan penuh, maka *controller* akan menghentikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai untuk mencegah *overcharge*, dengan demikian ketahanan baterai akan jauh lebih tahan lama. Saat tegangan di baterai dalam keadaan hampir kosong, maka *controller* berfungsi menghentikan pengambilan arus listrik dari baterai oleh beban. Dalam kondisi tegangan tertentu (umumnya sekitar 10% sisa tegangan di baterai), maka pemutusan arus beban dilakukan oleh *controller*. Hal ini menjaga baterai dan mencegah kerusakan pada sel-sel baterai. Pada *controller* tipe-tipe tertentu dilengkapi dengan tampilan digital meter dengan indikator yang lebih lengkap untuk memonitor berbagai macam kondisi yang terjadi pada sistem PLTS agar dapat terdeteksi dengan baik.
3. Svs Inverter
Inverter adalah alat yang merupakan rangkaian komponen elektronika yang digunakan untuk mengubah arus DC (*direct current*) menjadi arus AC (*alternating current*). Inverter dapat dijumpai pada berbagai jenis peralatan elektronika. Tanpa alat ini arus DC yang dihasilkan oleh panel surya tidak dapat digunakan secara langsung oleh peralatan listrik yang membutuhkan arus AC sebagai sumber daya utamanya.

C. Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Panel Surya

Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi kinerja panel surya dalam menghasilkan daya. Kondisi iklim

(awan dan kabut) mempunyai efek yang signifikan. Hal lain yang sangat penting untuk diperhatikan agar efisiensi kinerja panel surya dapat dimaksimalkan.

1. Temperatur panel surya
Tegangan listrik yang dihasilkan oleh suatu panel surya tidak hanya tergantung kepada besarnya intensitas radiasi yang diterimanya, namun kenaikan temperatur pada permukaan panel surya juga dapat menurunkan besar tegangan listrik tersebut. Untuk mengatasi hal ini, cara pemasangan panel surya harus diperhatikan. Berikan ruang yang cukup di bawah panel surya, sehingga aliran udara dapat menurunkan suhu panel surya pada saat suhu udara dalam puncak tertinggi.
2. Radiasi matahari
Semakin besar intensitas penyinaran matahari, maka semakin tinggi kinerja panel surya. Apabila jumlah energi cahaya matahari yang diterima panel surya berkurang atau intensitas cahayanya melemah maka besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun. Secara umum untuk memaksimalkan penyerapan sinar matahari di Indonesia. Saat ini telah terdapat sebuah aplikasi yang dapat menentukan pola atau gerak sinar matahari dimana panel surya akan dipasang.
3. Kecepatan angin
Kecepatan tiup angin di sekitar lokasi panel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca panel surya. Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari panel surya.
4. Bayangan
Lokasi terbaik adalah posisi yang tidak memiliki objek penghalang yang dapat menghasilkan bayangan pada panel surya terpasang. Terutama untuk penggunaan panel tipe polycrystalline, bayangan dapat mempengaruhi produksi daya keseluruhan yang dihasilkan panel surya.
5. Posisi atau kemiringan panel surya
Orientasi dari panel surya ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel surya dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut kemiringan dari panel surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Sedangkan untuk kemiringan panel surya yang disarankan di Indonesia adalah antara 5° hingga 15° .

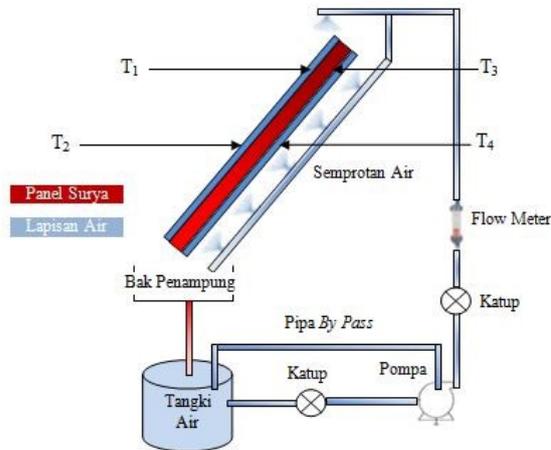
II. METODE PENELITIAN

A. Jenis dan Rancangan Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan perpaduan antara penelitian rancang bangun yaitu purwarupa sistem pembersih dan pendingin panel surya dan penelitian eksperimental kinerja sistem panel surya *off-grid* untuk kondisi berdebu dan setelah dibersihkan.

Penelitian rancang bangun berupa perancangan, pembuatan dan pengujian sebuah sistem PLTS off-grid dengan panel surya yang dilengkapi dengan sistem

pembersihan dan pendinginan menggunakan teknik semprotan air. Tahapan rancang bangun sebagai berikut: Studi literatur tentang beberapa teknik dan desain semprotan air (*nozzle jet*), menyusun spesifikasi komponen-komponen dalam sistem, dan membuat rancangan sistem menggunakan program Autocad.



Gambar 2. Rancangan sistem pendingin panel surya.

Rancangan sistem pembersihan dan pendinginan panel surya dilengkapi dengan sistem pemompaan air dan tangki penyimpanan air serta deretan nosel yang tersusun pada pipa *header* yang diletakkan pada bagian permukaan atas panel surya (Gambar 2). Proses pembersihan dan pendinginan dilakukan secara simultan dengan menggunakan kontrol *switch* pompa.

Dalam penelitian ini data yang diambil adalah intensitas radiasi cahaya, temperatur dan kelembaban lingkungan, temperatur permukaan panel, tegangan dan arus listrik keluar panel. Prototipe diuji di dalam ruangan (*indoor*) menggunakan simulator cahaya lampu halogen.

B. Identifikasi Variabel

Variabel penelitian terdiri atas variabel terikat dan variabel bebas. Parameter yang termasuk dalam variabel terikat: energi dan daya output sistem PLTS, temperatur permukaan panel surya. Sedangkan parameter yang merupakan variabel bebas adalah: temperatur dan kelembaban lingkungan, intensitas cahaya lampu dan debit air.

C. Instrumen Penelitian

Instrumen dan perlengkapan penelitian yang diperlukan dan digunakan dalam penelitian ini adalah program Autocad untuk desain konstruksi sistem pembersihan dan pendinginan panel surya dengan *nozzle jet*. Pencatatan data temperatur dan kelembaban udara menggunakan termometer dan higrometer digital. Tang amper dan multimeter untuk pengukuran tegangan dan arus listrik sedangkan solar power meter untuk mengukur intensitas cahaya lampu halogen.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Purwarupa Alat dan Pemilihan Komponen

Setelah melakukan survei dan studi literatur terhadap berbagai metode pembersihan dan pendinginan panel surya, langkah selanjutnya adalah melakukan perancangan purwarupa alat. Komponen-komponen utama purwarupa sistem pembersih dan pendingin panel surya ditentukan secara purposive dan berdasarkan ketersediaannya di pasaran.

Purwarupa sistem pendinginan panel surya ditunjukkan pada Gambar 3. Panel surya yang dipilih sebagai obyek utama dalam penelitian ini adalah tipe polycrystalline kapasitas 120 Wp dengan spesifikasi dan dimensi (1225 mm × 665 mm × 30 mm), nosel air, pompa air DC 12V, 60-65W dilengkapi rotameter dengan tekanan 220-280 kPa, jangkauan semprot 0,7-0,9 m dan debit 8-10 L/jam.

B. Hasil Pengujian

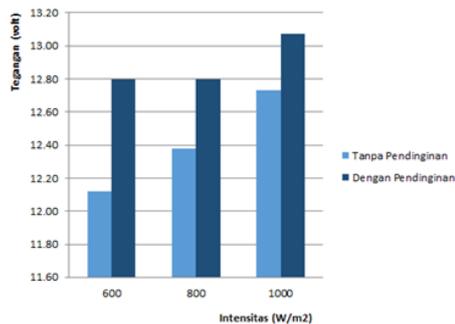
Pada pembahasan ini akan penulis menampilkan gabungan data yang merupakan rata-rata dari data pada Tabel 1 untuk membandingkan arus, tegangan dan daya. Untuk mencapai suhu efektif kerja solar panel sebesar 25 °C diperlukan waktu yang cukup lama dan media pendingin (air) yang cukup banyak sebesar 2,5 L/menit dimana dengan intensitas cahaya sebesar 600 W/m² diperlukan waktu kurang lebih 30 menit untuk mencapai suhu tersebut mengingat suhu ruangan sudah lebih tinggi dari 25 °C yaitu sebesar 27 °C. Demikian pula halnya untuk intensitas yang lebih tinggi yaitu diperlukan waktu berturut-turut sebesar 1 jam dan 2,5 jam untuk mendinginkan solar panel sebelum akhirnya permukaan solar panel mempunyai kisaran suhu efektif kerja sebesar 25 °C.



Gambar 3. Purwarupa pendingin panel surya.

Tabel 1. Data perbandingan perolehan tegangan.

	Tegangan (V)		
	600	800	1000
Intensitas cahaya (W/m ²)	600	800	1000
Tanpa pendinginan	12,12	12,38	12,73
Dengan pendinginan	12,79	12,80	13,08

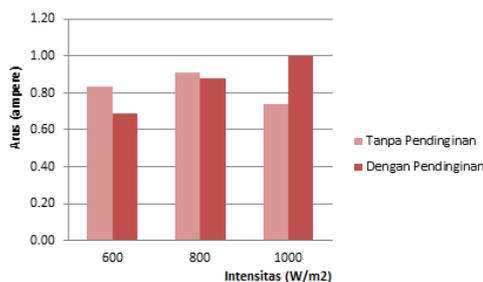


Gambar 4. Perbandingan perolehan tegangan pada intensitas cahaya tertentu dengan dan tanpa pendinginan.

Gambar 4 menunjukkan bahwa perolehan tegangan dengan pendinginan meningkat dibandingkan dengan tanpa pendinginan yaitu sebesar 0,4 V pada intensitas cahaya 600 W/m² dan 800 W/m² dan 0,2 V pada intensitas cahaya 1000 W/m².

Tabel 2. Data perbandingan perolehan arus.

Intensitas cahaya (W/m ²)	Arus (A)		
	600	800	1000
Tanpa pendinginan	0,84	0,91	0,74
Dengan pendinginan	0,69	0,88	1,00

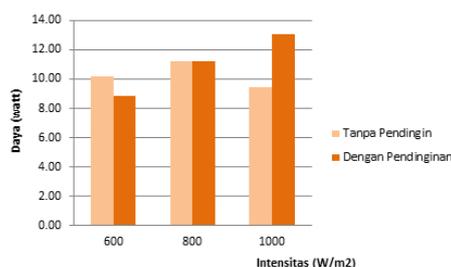


Gambar 5. Perbandingan perolehan arus pada intensitas cahaya tertentu dengan dan tanpa pendinginan.

Demikian juga halnya dengan arus seperti diperlihatkan pada Gambar 5, diperoleh arus yang lebih besar pada intensitas cahaya 1000 W/m² sebesar 1 A tetapi pada kondisi intensitas 600 W/m² dan 800 W/m² diperoleh arus yang lebih rendah.

Tabel 3. Data perbandingan perolehan daya.

Intensitas cahaya (W/m ²)	Daya (W)		
	600	800	1000
Tanpa pendinginan	10,15	11,24	9,42
Dengan pendinginan	8,82	11,25	13,03



Gambar 6. Perbandingan perolehan daya pada intensitas cahaya tertentu dengan dan tanpa pendinginan.

Gambar 6 menunjukkan bahwa perolehan daya sebesar 13 W pada intensitas cahaya 1000 W/m² walaupun pada intensitas cahaya yang lebih rendah yaitu 600 W/m² diperoleh penurunan daya sampai dengan 9 W.

Melihat fenomena yang terjadi bahwa terjadi peningkatan daya pada intensitas cahaya yang lebih tinggi tetapi tidak terlalu signifikan mengingat daya yang harus dikeluarkan untuk mendinginkan panel cukup besar pula tentunya ini akan berakibat pada pemborosan energi perolehan oleh panel surya.

IV. KESIMPULAN

Dari kegiatan yang telah dilaksanakan dapat ditarik simpulan bahwa efek pendinginan pada sel surya dapat berjalan dengan baik tetapi melihat dari segi efisiensi penggunaan energi tidak begitu menguntungkan. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh peningkatan daya sebesar 4 W pada intensitas 1000 W/m² dengan pendinginan tetapi pada intensitas cahaya yang lebih kecil, 600 W/m², menunjukkan penurunan daya sebesar 1 W pada luaran panel surya. Hal lain yang diperoleh adalah penggunaan pendingin pada panel surya belum efektif mengingat terdapat penggunaan daya listrik untuk menghidupkan sistem pendingin sebelum sel surya mulai digunakan untuk memperoleh suhu permukaan sel surya sebesar 25 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPPT, *Outlook energy Indonesia 2017*, Jakarta: BPPT, 2017.
- [2] Ministry of Energy and Mineral Resources of Republic of Indonesia (MEMR), *Handbook of energy & economic statistics of Indonesia 2017*, Jakarta: MEMR, 2017.
- [3] P3M PNB, *Rencana induk penelitian (RIP) Politeknik Negeri Bali 2016-2020*, Politeknik Negeri Bali, 2016.
- [4] S. Niz'etic', D. C'oko, A. Yadav, and F.G. C'abo, "Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response", *Energy Conversion and Management*, pp. 287-296, 2016.
- [5] M. Abdolzadeh and M. Ameri, "Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells", *Renewable Energy*, pp. 91-96, 2009.
- [6] M. Rahimi, M. Asadi, and N. Karami, "A comparative study on using single and multi header microchannels in a hybrid PV cell cooling", *Energy Conversion and Management*, pp. 1-8, 2015.
- [7] F. Schiro, A. Benato, A. Stoppato, and N. Destro, "Improving photovoltaics efficiency by water cooling: Modelling and experimental approach", *Energy*, pp. 798-810, 2017.

- [8] M.K. Smith, H. Selbak, C.C. Wamser, N.U. Day, M. Krieske, D.J. Sailir, and T.N. Rosenstiel, "Water cooling method to improve the performance of field-mounted, insulated, and concentrating photovoltaic modules, *Journal of Solar Energy Engineering*, pp. 034503-1 - 034503-4, 2014.
- [9] A.A.B. Baloch, H.M.S. Bahaidarah, and P. Gandhidasan, "Experimental and numerical performance analysis of a converging channel heat exchanger for PV cooling, *Energy Conversion and Management*, pp. 14-27, 2015.



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>