



AKSALont: Aplikasi transliterasi aksara Lontar Bali dengan model LSTM

AKSALont: Automatic transliteration application for Balinese palm leaf manuscripts with LSTM Model

Made Windu Antara Kesiman^{*)}, Kadek Teguh Dermawan

Virtual, Vision, Image and Pattern Research Group, Fakultas Teknik dan Kejuruan, Universitas Pendidikan
Ganesha
Jl. Udayana No. 11, Singaraja, Bali, Indonesia 81116

Cara sitasi: M. W. A. Kesiman and K. T. Dermawan, "AKSALont: Aplikasi transliterasi aksara Lontar Bali dengan model LSTM," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 9, no. 3, pp. 142-149, 2021. doi: [10.14710/jtsiskom.2021.13969](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2021.13969), [Online].

Abstract – This study aims to develop an automatic transliteration application for the Balinese palm leaf manuscripts into the Latin/Roman alphabet. The input for this system is the digital image of the original text from the ancient Balinese palm leaf manuscripts, not from the Balinese script, which is printed using a font on a computer. In this study, a segmentation-free transliteration machine using the LSTM model was implemented. In addition, the implementation of the AKSALont application is carried out for the interactions on a web-based platform using cross-platform interoperability. The experimental results show that the machine can transliterate Balinese characters on the Balinese palm-leaf manuscript images properly with a CER of 19.78 % using 10.475 test data. With a web-based online platform, AKSALont has been able to open wider access for the public to the web-based content with an online platform collection.

Keywords – transliteration; Balinese palm leaf manuscripts; LSTM model; web-based platform

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk membangun sebuah aplikasi transliterasi aksara Lontar Bali menuju alfabet Latin/Romawi. Citra aksara Lontar Bali yang menjadi masukan bagi sistem ini adalah citra digital dari naskah kuno asli dari Lontar Bali, bukan dari aksara Bali yang tercetak dengan menggunakan font pada komputer. Mesin transliterasi menggunakan model LSTM sehingga proses transliterasi dapat dilakukan tanpa melalui proses segmentasi glyph. Selain itu, dilakukan perancangan dan implementasi interaksi aplikasi AKSALont pada platform berbasis web menggunakan metode interoperabilitas antar platform. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa mesin transliterasi yang dibangun telah menunjukkan kemampuan untuk melakukan transliterasi aksara Bali pada citra Lontar

Bali dengan benar dan memiliki CER 19,78 % pada 10.475 data uji. Aplikasi AKSALont yang berbasis web dengan platform daring telah dapat membuka akses yang lebih meluas bagi masyarakat terhadap konten koleksi Lontar Bali.

Kata kunci – transliterasi; Lontar Bali; model LSTM; platform berbasis web

I. PENDAHULUAN

Koleksi naskah kuno berupa Lontar di Bali merupakan salah satu kekayaan bangsa Indonesia yang tidak ternilai harganya. Selain di Bali, koleksi naskah kuno Lontar juga ditemukan di beberapa daerah lainnya di Indonesia, dan juga di beberapa negara lain di kawasan Asia Tenggara, seperti di Thailand [1], [2] dan Kamboja [3], [4]. Koleksi Lontar Bali sangat tinggi nilainya jika dilihat dari segi jumlah koleksinya maupun variasi isi/keragaman konten koleksinya. Seluruh koleksi Lontar ini tentu saja mengandung nilai-nilai peradaban dan dasar-dasar pengetahuan yang menyangkut berbagai aspek kehidupan masyarakatnya sejak jaman lampau, yang meliputi aspek kepercayaan, agama, sistem adat, sosial, hingga mengenai pengetahuan tentang kesehatan, obat-obatan tradisional, seni dan budaya, serta tatanan hukum.

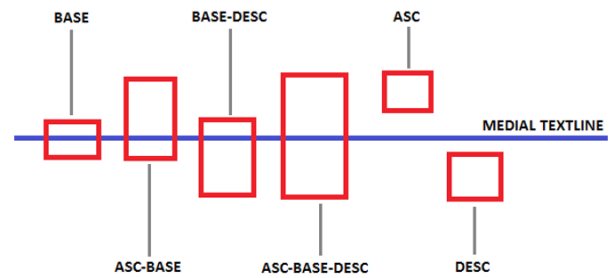
Di Bali, terdapat dua buah museum utama milik pemerintah yang menyimpan koleksi Lontar Bali, yaitu Museum Gedong Kirtya di Singaraja dan Museum Bali di Denpasar. Meskipun jumlah koleksi Lontar di kedua museum ini sudah cukup banyak, namun diperkirakan koleksi Lontar Bali terbanyak masih berada di masing-masing keluarga masyarakat Bali, yang diperoleh secara pribadi secara turun temurun sebagai warisan keluarga. Namun, sebagian besar keluarga yang memiliki koleksi Lontar Bali ini hanya menyimpannya selama bertahun-tahun, tanpa pernah mencoba untuk membuka dan membacanya. Hal ini karena koleksi Lontar Bali pada umumnya disakralkan dan pemilik Lontar merasa tidak mampu untuk membaca aksara yang tertulis pada Lontar.

^{*)} Penulis korespondensi (M. W. A. Kesiman)
Email: antara.kesiman@undiksha.ac.id

Secara umum, tantangan yang dihadapi dalam rangka pelestarian dan penyelamatan koleksi Lontar ini adalah tantangan dari terjadinya kerusakan fisik material Lontar, serta tantangan dari segi upaya untuk membuka dan meningkatkan akses terhadap isi pengetahuan yang terkandung di dalam Lontar untuk masyarakat secara meluas. Untuk mengatasi tantangan yang pertama, beberapa proyek digitalisasi naskah kuno telah diusulkan dan diimplementasikan. Proyek digitalisasi ini bertujuan untuk memperoleh dan menyimpan koleksi naskah kuno dalam format data digital, sehingga diharapkan dapat disimpan dalam waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan format data fisik Lontar yang akan rusak secara fisika, kimiawi dan biologis seiring berjalannya waktu. Namun, proyek digitalisasi tersebut tidak atau belum mampu mengatasi tantangan yang ke dua secara menyeluruh. Penyimpanan koleksi Lontar dalam format data digital, tidak serta merta mampu membuat dan membuka akses yang lebih mudah terhadap isi koleksi Lontar tersebut secara meluas ke masyarakat. Hal ini disebabkan karena sebagian besar koleksi Lontar tersebut tertulis dalam alfabet atau aksara yang sudah tidak digunakan lagi secara meluas oleh masyarakat dewasa ini. Khusus untuk koleksi Lontar Bali, tantangan ke dua ini membuat masyarakat kesulitan dan bahkan mulai lupa untuk mencoba membuka dan membaca isi pengetahuan yang tertulis di Lontar. Sebagian besar masyarakat tidak mampu membaca aksara Bali yang digunakan dalam menulis Lontar.

Lontar Bali ditulis dalam aksara Bali yang merupakan turunan dari aksara Brahmi dari India. Lontar Bali dituliskan dalam Bahasa Bali, Bahasa Jawa Kuno atau Kawi dan juga bercampur dengan Bahasa Sanskerta. Masyarakat Bali sebenarnya masih menggunakan Bahasa Bali dalam kehidupan sehari-hari, namun aksara Bali tidak lagi digunakan secara meluas. Hal inilah yang membuat lambat laun generasi muda tidak lagi menguasai cara menulis dan membaca dalam aksara Bali dengan baik, sehingga akan semakin sulit untuk menemukan seorang filolog yang mampu membaca aksara Bali dalam koleksi Lontar dengan baik.

Aksara Bali menganut konsep aksara *alphasyllabic*, dimana sebuah bentuk aksara Bali merepresentasikan sebuah suku kata. Secara lengkap, terdapat sekitar 156 bentuk aksara aksara Bali, namun hanya sekitar 121 bentuk aksara yang sudah memiliki kode di tabel Unicode (1B00 – 1B7F), yaitu terdiri dari 33 konsonan, 14 vokal, 18 *pangangge*, 10 digit angka, 8 tanda baca, 3 tanda tambahan, 28 simbol musik, dan 7 konsonan tambahan untuk Sasak. Sementara itu, 35 bentuk aksara lain yang tidak termasuk dalam tabel Unicode terdiri dari 30 konsonan bentuk ke dua, 3 *pangangge aksara*, dan 2 simbol tambahan [5]. Sebagai turunan aksara *alphasyllabic* dari kawasan Asia Tenggara, aksara Bali dianggap sebagai salah satu sistem penulisan aksara yang cukup kompleks. Beberapa bentuk aksara Bali dituliskan di atas baris teks utama (sebagai *Ascender*) dan di bawah baris teks utama (sebagai *Descender*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pada umumnya, bunyi ucapan pada suku kata berubah terkait



Gambar 1. Beberapa posisi penulisan bentuk aksara yang berbeda pada teks aksara Bali

dengan beberapa aturan fonologis tertentu. Dalam kasus ini, hanya dengan menggunakan sistem pengenalan bentuk aksara (*glyph recognizer*) atau sistem OCR (*Optical Character Recognition*) saja tidak lagi memadai. Oleh karena itu, sistem transliterasi juga harus dikembangkan untuk membantu upaya pembacaan isi koleksi Lontar Bali bagi sebagian besar cendekiawan muda yang belum familiar.

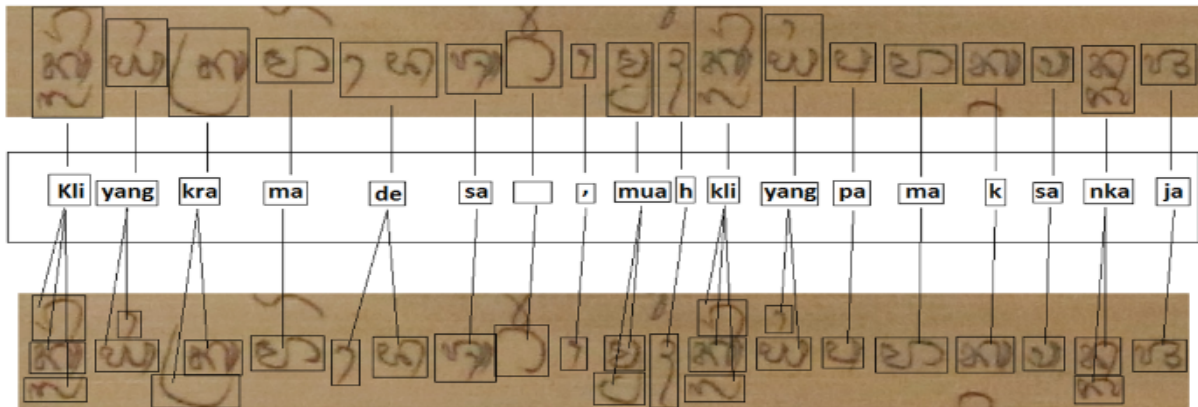
Beberapa penelitian sebelumnya telah melakukan identifikasi secara mendetail mengenai tantangan-tantangan teknis dalam upaya membangun sistem transliterasi untuk teks Lontar Bali. Identifikasi ini dilakukan dalam rangka membangun representasi pengetahuan yang lengkap secara formal dari seluruh aturan fonologi yang ada pada proses transliterasi aksara Bali dalam teks Lontar [5], [6]. Penelitian tersebut mengidentifikasi bahwa pada proses transliterasi citra aksara Lontar Bali, pemetaan antara simbol linguistik dan bentuk aksara pada citra tidak bisa dilakukan secara langsung karena beberapa kondisi.

Pertama, permasalahan pemetaan *one-to-one* antara simbol linguistik dan bentuk aksara pada citra sulit dilakukan pada kondisi aglutinasi bentuk aksara, misalnya antara bentuk aksara konsonan dengan bentuk ke dua dari bentuk aksara konsonan lain atau dengan bentuk aksara vokal lainnya. Aglutinasi bentuk aksara pada posisi vertikal membuat pemetaan antara simbol *glyph* dan pelafalan (*speech sound*) dari suku katanya tidak secara eksklusif *one-to-one*. Satu atau lebih bentuk aksara dasar dapat bergabung untuk membentuk suku kata gabungan, atau satu suku kata dapat dipetakan ke dalam satu atau lebih bentuk aksara.

Kedua, mendefinisikan suku kata gabungan sebagai unit fundamental dari sistem penulisan memang memungkinkan, akan tetapi jumlah kemungkinan kombinasi suku kata gabungan akan sangat banyak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, dan mengumpulkan jumlah sampel yang cukup untuk setiap kelas suku kata gabungan akan sangat sulit dan membutuhkan biaya yang sangat besar.

Ketiga, terdapat permasalahan *allographs* [7], yaitu ketika lebih dari satu bentuk aksara yang berbeda dapat digunakan untuk merepresentasikan pelafalan suku kata yang sama. Sebagai contoh adalah kondisi *allographs* yang ditunjukkan pada Gambar 3 dimana suku kata “NA” memiliki dua kemungkinan bentuk aksara, suku kata “SA” dengan tiga kemungkinan bentuk aksara, dan

Kliyang krama desa, muah kliyang pamaksan kaja

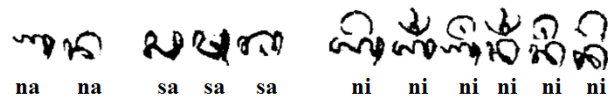


Gambar 2. Jumlah kombinasi suku kata gabungan yang sangat banyak

suku kata “NI” dengan enam kemungkinan kombinasi bentuk aksara. Namun, seringkali juga ditemukan ketidakkonsistenan teks transliterasi dari *allographs* tersebut, misalnya “SA” atau “SHA” atau “SSA”.

Dengan dasar identifikasi kondisi-kondisi tersebut, upaya pengembangan model/skema lengkap proses transliterasi aksara Lontar Bali sebenarnya telah dilakukan juga dalam penelitian tersebut dengan menggunakan prinsip aturan-aturan fonologi dari aksara dan bahasa Bali [5]. Namun, model transliterasi dengan menggunakan aturan fonologi tersebut hanya dapat bekerja pada sistem pengenalan bentuk aksara berbasis segmentasi (*segmentation based glyph recognizer*) [6]. Sistem tersebut mensyaratkan bahwa proses segmentasi bentuk aksara harus dilakukan dengan benar terlebih dahulu untuk bisa melakukan proses transliterasi dengan aturan formal fonologi yang telah dibangun. Proses segmentasi bentuk aksara pada citra teks Lontar Bali tentu saja tidaklah mudah dan merupakan tantangan lain lagi dalam penelitian analisis dokumen citra Lontar Bali.

Selain itu, penelitian untuk melakukan rekognisi teks pada citra segmen kata Lontar Bali juga telah dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi fitur dan metode klasifikasi [8]. Proses rekognisi teks Lontar Bali pada penelitian tersebut didasarkan pada hasil uji performansi metode ekstraksi fitur yang telah berhasil dilakukan sebelumnya untuk pengenalan bentuk aksara aksara Bali [9]. Namun, kelemahan sistem rekognisi teks pada penelitian tersebut adalah bahwa sistem hanya dapat bekerja pada jumlah jenis kata yang telah ditentukan sebelumnya dengan pasti (*closed vocabulary*). Sistem tidak akan mampu melakukan rekognisi teks pada teks kata baru yang sebelumnya tidak ada pada dataset klasifikasi. Upaya pembangunan mesin transliterasi teks Lontar Bali juga telah dilakukan dalam [10] yang menggunakan framework pengenalan teks OCRopy [11]. Pada penelitian tersebut, uji performansi transliterasi tidak hanya dilakukan dengan dataset Lontar Bali, tetapi juga dengan dataset Lontar Sunda [12] dan Kamboja [3]. Dengan nilai CER (*Character Error Rate*) di atas 39 % yang dihasilkan dari penelitian tersebut, maka



Gambar 3. Contoh kondisi *allographs*

performansi mesin transliterasi citra Lontar Bali masih cukup rendah dan harus ditingkatkan kembali.

Penelitian ini mengembangkan aplikasi AKSALont dengan mengimplementasikan mesin transliterasi teks Lontar Bali menuju teks dengan alfabet Latin/Romawi dengan menggunakan model LSTM (*Long Short Term Memory*) sehingga proses transliterasi dapat dilakukan tanpa melalui proses segmentasi glyph (*segmentation free glyph recognizer*). Proses transliterasi tanpa melalui proses segmentasi bentuk aksara ini diharapkan dapat meningkatkan hasil transliterasi Lontar Bali. Citra Lontar Bali yang menjadi masukan bagi sistem ini adalah citra digital dari naskah kuno asli dari Lontar Bali, bukan dari aksara Bali yang tercetak dengan menggunakan font pada komputer.

Kontribusi original penelitian ini tidak hanya terletak pada usulan pembangunan dan studi eksperimental performansi model LSTM untuk mesin transliterasi Lontar Bali, namun juga pada upaya pembangunan sistem hingga mampu digunakan oleh masyarakat secara meluas. Sistem menyeluruh ini merupakan sistem transliterasi Lontar Bali yang pertama kali dibangun dan dipublikasikan secara meluas bagi masyarakat. Ruang lingkup penelitian yang dilakukan terbagi dalam dua bagian yaitu bagian pembangunan dan pengembangan mesin utama aplikasi berbasis model LSTM untuk melakukan transliterasi secara otomatis pada sebuah segmen citra digital Lontar Bali, dan bagian perancangan dan pengembangan sistem antarmuka berbasis web untuk melakukan komunikasi dan menghubungkan pengguna dengan mesin utama transliterasi secara daring.

II. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini akan dipaparkan secara rinci rancangan model dan eksperimen yang dilakukan untuk membangun model LSTM untuk transliterasi aksara Lontar Bali, yang meliputi pemaparan tentang dataset yang digunakan dan metode evaluasi performansi mesin transliterasi. Setelah itu, akan diberikan gambaran umum tentang rancangan pengembangan antar muka aplikasi transliterasi berbasis web untuk pengguna.

A. Model LSTM untuk transliterasi

Transliterasi diartikan sebagai proses untuk mendapatkan terjemahan fonetik antar bahasa [13]. Transliterasi melibatkan rendering bahasa dari satu sistem penulisan (*writing system*) ke sistem penulisan yang lain. Masalah transliterasi diformulasikan secara formal sebagai masalah pengurutan label dari satu alfabet bahasa ke alfabet bahasa lainnya. Transliterasi akan membantu mengindeks dan mengakses isi naskah dengan cepat dan efisien. Beberapa model transliterasi telah diusulkan [13]–[16].

Pada bidang pembelajaran mesin (*machine learning*), model LSTM banyak digunakan dalam masalah analisis sekuens. Pengenalan teks dan proses transliterasi merupakan salah satu masalah umum yang secara natural dapat mengimplementasikan model LSTM tersebut. LSTM memiliki dua properti utama, *context sensitive learning* dan *good generalization* [17], [18]. LSTM telah digunakan secara meluas untuk tugas pengenalan teks tanpa menggunakan metode ekstraksi fitur dan model bahasa tertentu. Nilai pikels citra dapat dikirim langsung sebagai masukan ke *learning network* tanpa perlu melakukan segmentasi pada sekuens *data training*. Arsitektur LSTM dikenal sebagai pengenal teks yang generik dan tidak tergantung bahasa [19]. LSTM telah digunakan untuk mengenali teks tulisan tangan maupun tulisan cetak dengan sukses [18].

Jaringan LSTM menambahkan *multiplicative gates* dan *additive feedback* pada arsitektur RNN. Sebuah sel pada LSTM bisa menghapus informasi di dalam sel yang sudah tidak dibutuhkan, dan bisa menambahkan informasi baru untuk disimpan ke dalam sel. Sebuah sel LSTM terdiri dari beberapa *gate*. Pertama, *Forget Gate* dengan *Logistic Sigmoid Function*. *Forget Gate* akan menentukan masukan yang harus dipertahankan di setiap *time step* tertentu. *Forget Gate* menghasilkan nilai antara 0 (jika sel menghapus seluruh informasi di dalamnya) dan 1 (jika sel mempertahankan seluruh informasi di dalamnya). Kedua, *Input Gate* yang akan menentukan masukan yang akan diproses oleh sel. Ketiga, *Output Gate* yang akan menentukan nilai keluaran dari sel.

Proses *forwad training* dari LSTM dinyatakan dalam (1)–(6). Parameter f_t adalah *forget gate layer*, i_t adalah *input gate layer*, o_t adalah *output gate layer*, C_t adalah *Cell State*, h_t adalah keluaran sel dan h_{t-1} adalah keluaran sel pada langkah waktu sebelumnya. Parameter b_y dengan $y \in \{f, i, v, o\}$ adalah unit bias untuk *forget gate*, *input gate*, *input squashing* dan *output gate*, W_{xf} adalah

bobot koneksi antara simpul eksternal ke- i dan ke- j . Misalnya, W_{xf} adalah bobot koneksi antara masukan eksternal dengan *forget gate*, σ adalah *Logistic Sigmoid Function* (Persamaan 7), \tanh adalah fungsi tangen hiperbolik (Persamaan 8).

$$f_t = \sigma(W_{xf}x_t + W_{hf}h_{t-1} + b_f) \quad (1)$$

$$i_t = \sigma(W_{xi}x_t + W_{hi}h_{t-1} + b_i) \quad (2)$$

$$v_t = \tanh(W_{xv}x_t + W_{hv}h_{t-1} + b_v) \quad (3)$$

$$o_t = \sigma(W_{xo}x_t + W_{ho}h_{t-1} + b_o) \quad (4)$$

$$C_t = f_t C_{t-1} + i_t v_t \quad (5)$$

$$h_t = o_t \tanh(C_t) \quad (6)$$

$$\sigma = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (7)$$

$$\tanh(x) = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1} \quad (8)$$

Proses mundur dari LSTM adalah proses propagasi balik dari galat antara keluaran yang dihasilkan pada proses maju dibandingkan dengan target keluaran. Nilai *learning weights* dan *bias* pada jaringan LSTM akan diperbaharui selama proses propagasi balik dari galat pembelajaran dengan menggunakan algoritma *back propagation through time* (BGT) [18].

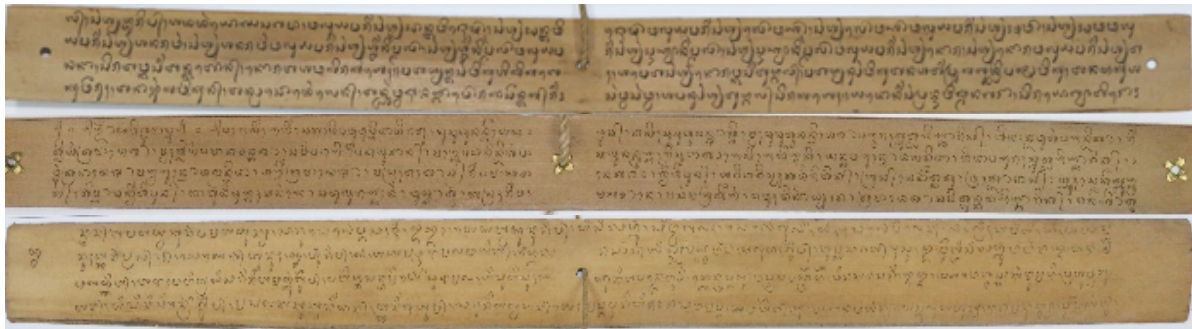
B. AMADI_LontarSet: dataset citra Lontar Bali

Salah satu proyek yang berhubungan dengan digitalisasi koleksi Lontar Bali adalah AMADI Project [Error: Reference source not found](#). Proyek ini tidak hanya bertujuan untuk melakukan digitalisasi Lontar Bali, namun juga membangun sistem analisis citra dokumen Lontar Bali. Melalui proyek ini, telah dipublikasikan dataset standar dan valid yang dapat digunakan untuk penelitian pengembangan sistem analisis citra dokumen Lontar Bali.

Sampel citra digital Lontar Bali dalam proyek ini dikumpulkan dari 23 koleksi Lontar Bali yang berbeda, yang berasal dari 5 lokasi (daerah) yang berbeda di Bali, sehingga sangat representatif dari aspek variasi jenis tulisan tangan penulis Lontar yang berbeda serta dari aspek variasi bahan dan kondisi material Lontar seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 4](#). Dalam dataset AMADI_LontarSet [Error: Reference source not found](#), terdapat dataset untuk transliterasi citra segmen kata dari Lontar Bali, yaitu terdiri dari 15.022 citra segmen kata yang berasal dari 130 halaman Lontar Bali sebagai data latih dan 10.475 citra segmen kata yang berasal dari 100 halaman Lontar Bali sebagai data uji. Masing-masing citra segmen kata dalam dataset tersebut mengandung teks transliterasi sebagai data *ground truth* seperti contoh yang ditunjukkan pada [Gambar 5](#).

C. Metode evaluasi

Character Error Rate (CER) digunakan untuk mengevaluasi performansi mesin transliterasi citra segmen kata. CER menunjukkan metrik jarak



Gambar 4. Tiga contoh sampel halaman Lontar Bali dari koleksi yang berbeda

penyuntingan antara teks target dan teks transliterasi yang dihasilkan. Jarak didefinisikan sebagai rasio aksi penyisipan, penghapusan, dan penggantian huruf dibandingkan dengan total panjang kata [18].

D. Rancangan antarmuka aplikasi AKSALont

Aplikasi AKSALont dirancang untuk menggunakan platform berbasis web. Tahapan integrasi mesin utama ke dalam platform berbasis web menggunakan metode interoperabiliti antar platform (*cross-platform interoperability*) sesuai skema yang ditunjukkan pada Gambar 6. Mesin AKSALont berjalan dalam lingkungan kerja bahasa Python, dan antarmuka bekerja pada skrip di sisi klien (HTML, CSS, dan Javascript).

Pertama, mesin AKSALont perlu dikonfigurasi sedemikian rupa agar hasil rekognisi mesin AKSALont bisa dikirim melalui suatu API. API akan dieksekusi oleh sisi klien, dan selanjutnya respons API disajikan ke dalam platform berbasis web. Proses produksi dan publikasi API AKSALont menggunakan kerangka Flask. Kerangka Flask bertugas untuk membuat akses API melalui protocol HTTP/HTTPS.

Tahap kedua, platform situs web mengonsumsi hasil respons yang diterima dari API AKSALont. Antarmuka berbasis web menangkap interaksi pengguna berupa file citra. Potongan file citra di POST ke API yang bertugas menjalankan mesin AKSALont. Hasil transliterasi AKSALont terbaca melalui respons JSON yang dihasilkan dari kerangka Flask. Tahap ketiga, respons JSON yang berhasil tertangkap ditambah ke bagian pohon DOM. DOM yang sudah siap dengan respons AKSALont ditampilkan secara *rest render*, tanpa mengakses kembali keseluruhan DOM file pada halaman situs web.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

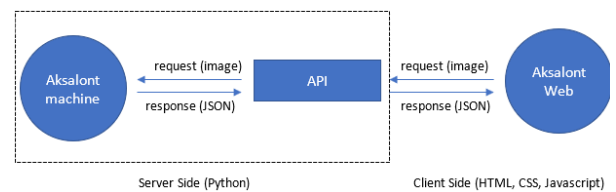
Pada bagian ini akan dipaparkan hasil evaluasi performansi mesin transliterasi dan hasil implementasi antarmuka aplikasi AKSALont berbasis web.

A. Hasil evaluasi performansi transliterasi

Sebelum dilakukan evaluasi performansi secara kuantitatif, evaluasi hasil mesin utama transliterasi dilakukan dengan melakukan observasi awal pada beberapa sampel segmen citra Lontar Bali. Beberapa



Gambar 5. Contoh sampel beberapa citra segmen kata pada AMADI_LontarSet



Gambar 6. Rancangan *interoperability* pada AKSALont

sampel segmen citra Lontar Bali dan hasil transliterasinya ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil observasi sampel transliterasi yang diperoleh, terlihat bahwa secara fungsional mesin transliterasi yang dibangun sudah mampu melakukan model pembelajaran mesin dengan baik dan sudah menunjukkan kemampuan untuk melakukan transliterasi aksara Bali pada citra Lontar Bali dengan benar.

Hasil observasi menunjukkan bahwa sampel segmen citra Lontar Bali yang mengandung kombinasi penulisan bentuk aksara aksara Bali pada arah vertikal dan horizontal telah berhasil ditransliterasi dengan pelafalan suku kata yang tepat (Tabel 1). Uji coba pada sampel segmen citra Lontar Bali dengan ukuran yang pendek (kata dengan dua suku kata dan tertulis dengan

sekitar 4-6 kombinasi bentuk aksara) dan dengan ukuran yang panjang (kata hingga empat suku kata dan tertulis dengan sekitar 8-10 kombinasi bentuk aksara) juga menunjukkan hasil yang benar. Meskipun masih ada hasil teks transliterasi yang tidak tepat, hasil ini telah menunjukkan bahwa model pembelajaran mesin LSTM yang dibangun sudah mengarahkan proses pembelajaran mesinnya pada tujuan yang sesuai dengan tujuan proses transliterasi Lontar Bali yang diharapkan berdasarkan dataset pembelajaran yang digunakan, seperti transliterasi lainnya dalam [13]-[16].

Hasil evaluasi performansi mesin transliterasi secara kuantitatif ditunjukkan pada Tabel 2. Data validasi merupakan bagian dari data latih yang digunakan untuk mengukur apakah terjadi peningkatan performansi sistem selama proses latih. Jadi, 750 citra data validasi adalah bagian dari 15.022 citra data latih, yang digunakan saat proses latih. Sementara itu, data uji tetap sebanyak 10.475 citra. Secara lebih detail, hasil CER 19,78 % pada data uji diperoleh dari hasil perhitungan persentase ditemukannya 8.703 huruf yang salah dari total secara keseluruhan 44.006 huruf hasil transliterasi.


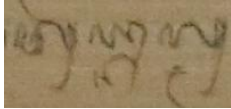
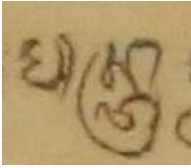
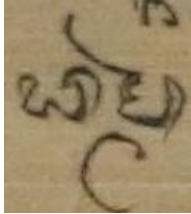
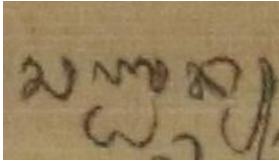
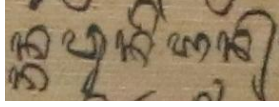
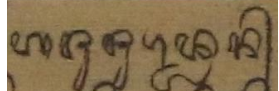
Berdasarkan nilai CER yang dihasilkan, performansi mesin transliterasi sudah cukup baik dibandingkan [5], [6], [8] dengan CER lebih besar dari 39 %. Proses transliterasi tanpa melalui proses segmentasi *glyph* menggunakan LSTM ini dapat meningkatkan hasil transliterasi, seperti [17]-[19]. Namun, performansi ini masih harus terus ditingkatkan lagi. Tantangan kompleksitas aksara dan keragaman kondisi kerusakan citra Lontar Bali sebagai bagian dari tantangan teknis di penelitian ini memang cukup tinggi [Error: Reference source not found](#). Di samping itu, kuantitas data latih dan proporsi jumlah masing-masing sampel bentuk aksara Bali beserta kombinasi bentuk aksara dalam penulisannya yang terdapat dalam data latih juga turut mempengaruhi performansi hasil pembelajaran model LSTM [9], [10]. Hasil yang dicapai sampai saat ini merupakan hasil tahap uji yang sudah cukup baik, dan sudah mampu menunjukkan bahwa sistem bisa mentransliterasi citra digital aksara Bali. Untuk itu, perlu dilakukan model pengembangan dataset tambahan untuk meningkatkan performansi pembelajaran mesin yang dilakukan sehingga kemampuan sistem untuk melakukan proses transliterasi bisa ditingkatkan.

B. Implementasi antarmuka aplikasi AKSALont

Sesuai dengan kontribusi yang diharapkan, untuk dapat digunakan secara meluas, maka mesin transliterasi Lontar Bali yang telah dibangun diintegrasikan ke dalam sebuah aplikasi berbasis web dengan antarmuka siap pakai. Aplikasi AKSALont dapat diakses secara publik di halaman <https://aksalont.mudratech.org>. Layar antarmuka utama AKSALont beserta bagian komponen-komponen utamanya ditunjukkan pada Gambar 7.

Pengguna dapat mengambil dan menggeser citra digital Lontar Bali dengan menggunakan beberapa tombol navigasi yang tersedia (Gambar 8). Pengguna dapat melakukan pemilihan *region of interest* (ROI) dari

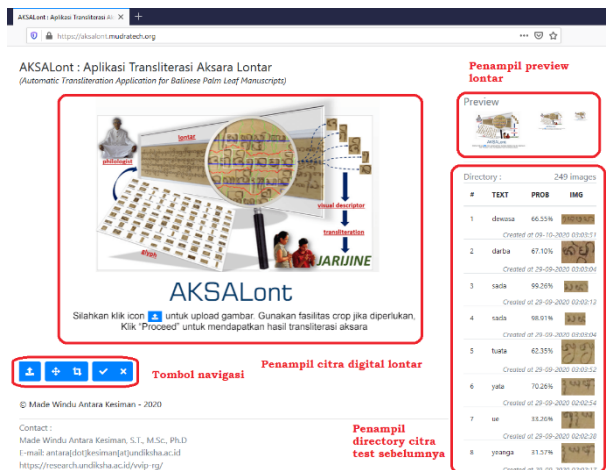
Tabel 1. Sampel citra dan hasil transliterasinya

Sampel Citra	Ground truth	Hasil
	wenang	wenang
	tunggal	tunggal
	mantra	mantra
	dharma	dharma
	sabdania	sabdania
	kauningan	kawuningan
	ajujuden	ajujudan

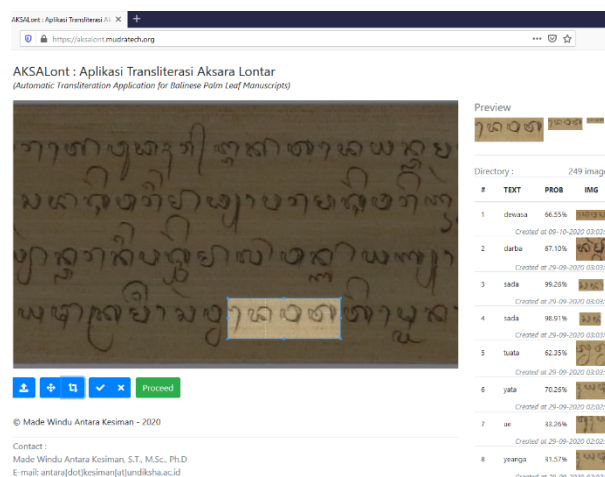
Tabel 2. Hasil evaluasi performansi transliterasi

Dataset	Jumlah Citra	CER (%)
Data validasi	750	15,81
Data uji	10.475	19,78

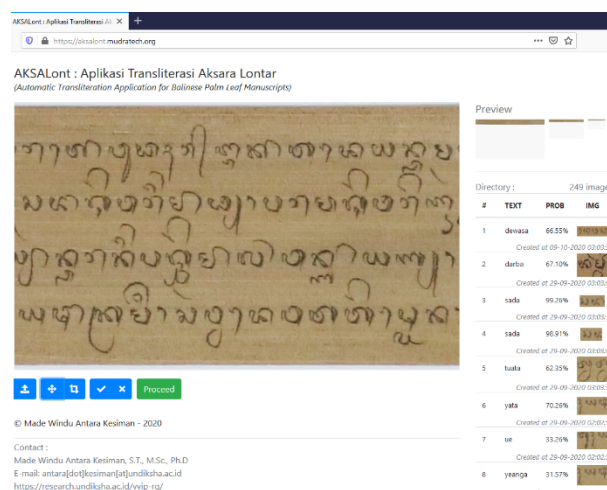
bagian teks Lontar Bali yang akan ditransliterasi (Gambar 9). ROI yang dipilih hendaknya merupakan area yang melingkupi dengan baik sebuah baris teks, tidak pada area diantara dua buah baris teks. Setelah ROI dipilih, pengguna dapat melakukan proses utama untuk mentransliterasi ROI teks Lontar Bali tersebut. Hasil transliterasi akan ditampilkan oleh AKSALont beserta nilai tingkat probabilitas kebenarannya (Gambar 10). Dari hasil uji coba antarmuka, sistem AKSALont berbasis web ini telah mampu melakukan komunikasi dengan pengguna secara daring dalam melakukan proses transliterasi Lontar Bali.



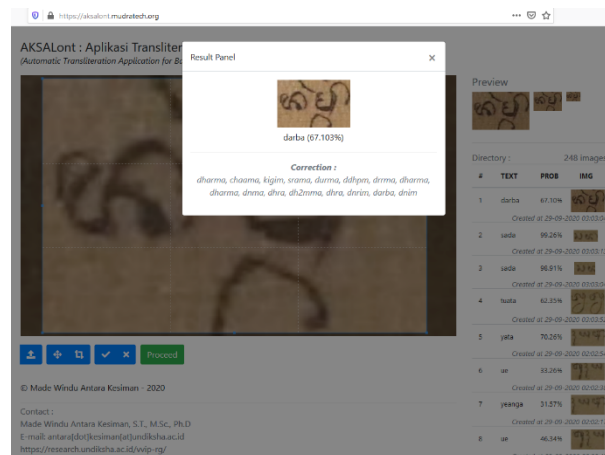
Gambar 7. Bagian komponen utama pada layar antarmuka AKSALont



Gambar 9. Pemilihan ROI dari bagian teks Lontar Bali yang akan ditransliterasi



Gambar 8. Sebuah citra digital halaman Lontar Bali yang sudah di-load ke dalam antarmuka AKSALont



Gambar 10. Hasil transliterasi ditampilkan oleh AKSALont beserta nilai tingkat probabilitas kebenarannya

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah membangun sebuah aplikasi transliterasi teks aksara Bali dari citra digital Lontar Bali menuju teks dengan alfabet Latin/Romawi dengan CER 19,78 % dari 10.475 citra uji. Aplikasi AKSALont yang berbasis web dengan platform daring ini diharapkan dapat membuka akses yang lebih meluas bagi masyarakat untuk mencoba membuka dan membaca konten koleksi Lontar Bali yang selama ini hanya tersimpan sebagai warisan keluarga saja. Rencana penelitian selanjutnya adalah untuk mengembangkan metode perbaikan teks pasca transliterasi untuk bisa memberikan usulan perbaikan teks hasil transliterasi yang masih mengandung kesalahan sehingga performansi sistem transliterasi dapat ditingkatkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung dan didanai oleh Skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) DRPM DIKTI Tahun 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Chamchong and C. C. Fung, "Character segmentation from ancient palm leaf manuscripts in Thailand," in *2011 Workshop on Historical Document Imaging and Processing*, Beijing, China, Sept. 2011, pp. 140-145. doi: [10.1145/2037342.2037366](https://doi.org/10.1145/2037342.2037366)
- [2] R. Chamchong and C. C. Fung, "Text line extraction using adaptive partial projection for palm leaf manuscripts from Thailand," in *2012 International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition*, Bari, Italy, Sep. 2012, pp. 588-593. doi: [10.1109/ICFHR.2012.280](https://doi.org/10.1109/ICFHR.2012.280)
- [3] D. Valy, M. Verleysen, S. Chhun, and J.-C. Burie, "A new Khmer palm leaf manuscript dataset for document analysis and recognition – Sleukrith set," in *4th International Workshop on Historical Document Imaging and Processing*, Kyoto, Japan, Nov. 2017, pp. 1-6. doi: [10.1145/3151509.3151510](https://doi.org/10.1145/3151509.3151510)
- [4] D. Valy, M. Verleysen, and K. Sok, "Line segmentation approach for ancient palm leaf

- manuscripts using competitive learning algorithm,” in *15th International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition*, Shenzhen, China, Oct. 2016, pp. 108-113. doi: [10.1109/ICFHR.2016.0032](https://doi.org/10.1109/ICFHR.2016.0032)
- [5] M. W. A. Kesiman, J. C. Burie, J. M. Ogier, and P. Grangé, “Knowledge and phonological rules for the automatic transliteration of Balinese Script on palm leaf manuscript,” *Computación y Sistemas*, vol. 21, no. 4, pp. 1-9, 2018. doi: [10.13053/cys-21-4-2851](https://doi.org/10.13053/cys-21-4-2851)
- [6] M. W. A. Kesiman, J.-C. Burie, and J.-M. Ogier, “A complete scheme of spatially categorized glyph recognition for the transliteration of Balinese palm leaf manuscripts,” in *IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, Kyoto, Japan, Nov. 2017, pp. 125–130. doi: [10.1109/ICDAR.2017.29](https://doi.org/10.1109/ICDAR.2017.29)
- [7] D. Doermann and K. Tombre, Eds., *Handbook of document image processing and recognition*. London: Springer London, 2014. doi: [10.1007/978-0-85729-859-1](https://doi.org/10.1007/978-0-85729-859-1)
- [8] M. W. A. Kesiman, “Word recognition for the Balinese palm leaf manuscripts,” in *EEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence (CyberneticsCom)*, Banda Aceh, Indonesia, Aug. 2019, pp. 72–76. doi: [10.1109/CYBERNETICSCOM.2019.8875634](https://doi.org/10.1109/CYBERNETICSCOM.2019.8875634)
- [9] M. W. A. Kesiman, S. Prum, J.-C. Burie, and J.-M. Ogier, “Study on feature extraction methods for character recognition of Balinese script on palm leaf manuscript images,” in *23rd International Conference on Pattern Recognition*, Cancun, Mexico, Dec. 2016, pp. 4017-4022. doi: [10.1109/ICPR.2016.7900262](https://doi.org/10.1109/ICPR.2016.7900262)
- [10] M. Kesiman *et al.*, “Benchmarking of document image analysis tasks for palm leaf manuscripts from Southeast Asia,” *Journal of Imaging*, vol. 4, no. 2, 43, 2018. doi: [10.3390/jimaging4020043](https://doi.org/10.3390/jimaging4020043)
- [11] T. Tom, *ocropy: Python-based tools for document analysis and OCR*. 2018.
- [12] M. Suryani, E. Paulus, S. Hadi, U. A. Darsa, and J.-C. Burie, “The handwritten Sundanese palm leaf manuscript dataset from 15th century,” in *IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition*, Kyoto, Japan, Nov. 2017, pp. 796-800. doi: [10.1109/ICDAR.2017.135](https://doi.org/10.1109/ICDAR.2017.135)
- [13] P. Shishtla, V. S. Ganesh, S. Subramaniam, and V. Varma, “A language-independent transliteration schema using character aligned models at NEWS 2009,” in *2009 Named Entities Workshop: Shared Task on Transliteration*, Suntec, Singapore, Aug. 2009, pp. 40-43. doi: [10.3115/1699705.1699715](https://doi.org/10.3115/1699705.1699715)
- [14] N. AbdulJaleel and L. S. Larkey, “English to Arabic transliteration for information retrieval: a statistical approach,” in *International Conference on Information and Knowledge Management*, Orleans, USA, Nov. 2004, pp. 139-146.
- [15] A. Finch and E. Sumita, “Transliteration using a phrase-based statistical machine translation system to re-score the output of a joint multigram model,” in *Named Entities Workshop*, Uppsala, Sweden, Jul. 2010, pp. 48–52.
- [16] L. Pretkalinina, P. Paikens, N. Gruzitis, L. Rituma, and A. Spektors, “Making historical latvian texts more intelligible to contemporary readers,” in *LREC Workshop on Adaptation of Language Resources and Tools for Processing Cultural Heritage Objects*, Istanbul, Turkey, May 2012, pp. 1-7.
- [17] T. M. Breuel, A. Ul-Hasan, M. A. Al-Azawi, and F. Shafait, “High-Performance OCR for printed English and fraktur using LSTM networks,” in *International Conference on Document Analysis and Recognition*, Washington, USA, Aug. 2013, pp. 683–687. doi: [10.1109/ICDAR.2013.140](https://doi.org/10.1109/ICDAR.2013.140)
- [18] M. Jenckel, S. S. Bukhari, and A. Dengel, “anyOCR: A sequence learning based OCR system for unlabeled historical documents,” in *International Conference on Pattern Recognition*, Cancun, Mexico, Dec. 2016, pp. 4035–4040. doi: [10.1109/ICPR.2016.7900265](https://doi.org/10.1109/ICPR.2016.7900265)
- [19] A. Ul-Hasan and T. M. Breuel, “Can we build language-independent OCR using LSTM networks?,” in *International Workshop on Multilingual OCR*, Washington, USA, Aug. 2013, pp. 1-5. doi: [10.1145/2505377.2505394](https://doi.org/10.1145/2505377.2505394)
- [20] M. W. A. Kesiman, J.-C. Burie, J.-M. Ogier, G. N. M. A. Wibawantara, and I. M. G. Sunarya, “AMADI_LontarSet: the first handwritten Balinese palm leaf manuscripts dataset,” in *International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition*, Shenzhen, China, Oct. 2016, pp. 168–172. doi: [10.1109/ICFHR.2016.0042](https://doi.org/10.1109/ICFHR.2016.0042)



©2021. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).