

SERTIFIKASI ELEKTRONIK DAN DIGITAL SIGNATURE: UPAYA PENGURANGAN SAMPAH PEMILU

Pasko Brutus Damanik

Komisi Pemilihan Umum Kabupaten Kerinci, Kerinci, Indonesia

E-mail: damanikpasko@gmail.com

ABSTRAK

Artikel ini bertujuan untuk menguraikan bagaimana penerapan digitalisasi dokumen Pemilu berbasis sertifikat elektronik dapat meningkatkan efisiensi kebutuhan logistik. Dengan penggunaan pendekatan kualitatif deskriptif melalui studi kepustakaan, penelitian ini menemukan bahwa setidaknya terdapat 8 (delapan) jenis logistik berbahan kertas yang meliputi surat suara, formulir, sampul kertas, segel, tanda pengenal, label identitas kotak suara, daftar pasangan calon, daftar calon tetap, salinan daftar pemilih tetap dan pindahan, serta 6 (enam) berbahan plastik yang meliputi kantong plastik, segel plastik, bolpoin, cover tanda pengenal, wadah tinta dan spidol. Dari seluruh jenis logistik tersebut, hanya terdapat 3 (tiga) jenis logistik yang dapat dimanfaatkan penggunaanya melalui lelang barang milik negara yaitu bilik suara, kotak suara dan surat suara. Sementara jenis logistik lainnya tidak dapat terkelola secara berkelanjutan atau dapat dikatakan menjadi "Sampah Pemilu". Artikel ini menawarkan kajian penerapan sertifikat elektronik pada dokumen penghitungan dan rekапitulasi suara tingkat adhoc, sehingga dapat mengefisiensikan penggunaan logistik berbahan kertas dan plastik dengan tetap mempertahankan keabsahan dokumen tersebut. Kesimpulan dari penelitian ini adalah perlunya penerapan digitalisasi dokumen Pemilu dengan sistem autentikasi berbasis Sertifikat elektronik dan Digital Signature guna mewujudkan Penyelenggaraan Pemilu yang efisien, transparan, ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kata Kunci: **digitalisasi dokumen pemilu, logistik, pemilu hijau dan berkelanjutan**

ELECTRONIC CERTIFICATION AND DIGITAL SIGNATURES: TOWARD MINIMIZING ENVIRONMENTAL WASTE IN ELECTIONS

ABSTRACT

This article aims to explain how the implementation of election document digitization based on electronic certification can improve the efficiency of logistical needs. Using a descriptive qualitative approach through literature study, this research identifies at least eight types of paper-based election logistics, including ballots, forms, paper envelopes, seals, ID cards, ballot box labels, candidate lists, final candidate lists, and copies of the final and transferred voter lists. Additionally, there are six types of plastic-based logistics, such as plastic bags, plastic seals, pens, ID card covers, ink containers, and markers. Among these, only three types—voting booths, ballot boxes, and ballots—can be repurposed through state-owned goods auctions. The remaining items are not sustainably managed and effectively become "election waste." This article proposes the application of electronic certification for vote counting and recapitulation documents at the adhoc level, aiming to reduce the use of paper and plastic-based logistics while maintaining the validity of the documents.

The study concludes that the adoption of digital election documents with an electronic certification-based authentication system is essential to realizing an efficient, transparent, environmentally friendly, and sustainable election process.

Keywords: *digitized election documents, election logistics, green and sustainable election*

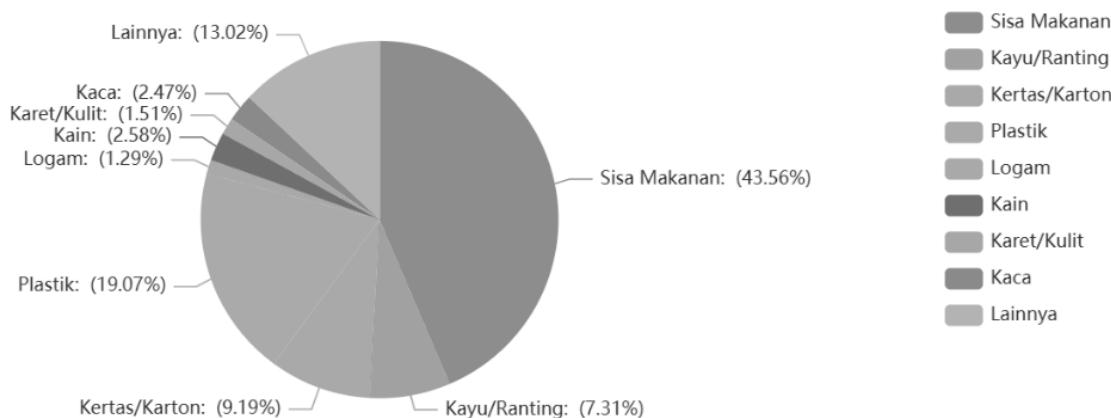
PENDAHULUAN

Proses pemilihan umum (Pemilu) di Indonesia memiliki skala yang masif dan kompleks khususnya terkait tata kelola dokumen pemilu yang masih konvensional dan manual. Kompleksitas ini seringkali diiringi oleh tantangan substansial, salah satunya adalah komitmen Indonesia dalam pembangunan berkelanjutan dimana kebijakan pemerintah seharusnya selaras dengan agenda SDGs (Sustainable Development Goals) yang menekankan perlunya mempertahankan dan menjaga lingkungan hidup (Septianingsih dan Kurniawan, 2024:221-222). Sebagaimana diatur dalam Peraturan Komisi Pemilihan Umum Nomor 25 Tahun 2023 (PKPU No. 25/2023) tentang Pemungutan dan Penghitungan Suara dalam Pemilihan Umum, seluruh tahapan pemungutan dan penghitungan suara masih sangat bergantung pada penggunaan dokumen cetak berbahan kertas secara masif, ditambah lagi dengan penggunaan plastik sebagai logistik penunjang Pemilu.

Penggunaan dokumen fisik atau cetak dalam skala besar ini tidak hanya menimbulkan inefisiensi, akan tetapi sangat rentan terhadap kesalahan teknis, kecurangan, subjektifitas dan kerentanan fisik (Ahlback & Jablonski, 2019: 8-19). Selain itu, penggunaan dokumen cetak juga menyisakan permasalahan serius terkait produksi limbah kertas dalam jumlah besar, mulai dari formulir C. HASIL (Plano), C. HASIL SALINAN (A4) yang berlapis-lapis, hingga dokumen rekapitulasi di setiap tingkatan, seluruhnya mengandalkan dokumen fisik yang pada akhirnya berkontribusi terhadap tumpukan ‘sampah Pemilu’. Dikutip dari Tempo, pelaksanaan Pemilu 2024 secara serentak diperkirakan menghabiskan 65.998 ton kertas (Fajriadi, 2024)

Dalam laporan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) menyebutkan terdapat 34,2 juta ton/tahun timbunan sampah dimana 18,1 juta ton/tahun atau 52,96% sampah tidak terkelola. Data ini menunjukkan bahwa lebih dari setengah sampah nasional berpotensi mencemari lingkungan karena tidak ditangani secara tepat. Sementara komposisi sampah berdasarkan jenis sampah dapat diuraikan dalam gambar berikut:

Gambar 1.
Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis Sampah



Sumber: Diperoleh dari SIPSN Tahun 2024

Dari sumber di atas dapat dilihat bahwa sampah plastik dan kertas termasuk dalam posisi empat besar penyumbang sampah nasional, masing-masing di atas 10% dari total komposisi. Hal ini menandakan kontribusi signifikan keduanya terhadap masalah sampah secara keseluruhan, yang jika tidak diatasi, dapat memperburuk beban lingkungan di masa depan.

Sampah plastik merupakan kategori sampah anorganik yang tidak mudah terurai. Selain proses penguraian yang memerlukan waktu yang sangat lama, dampak negatif yang ditimbulkan yaitu partikel-partikel plastik (mikroplastik) dapat mencemari tanah, air dan makhluk hidup yang mengkonsumsinya. Lebih berbahayanya mikroplastik telah ditemukan pada manusia, partikel-partikel kecil ini terdapat dalam darah, paru-paru, dan bahkan feses manusia (Parker, 2025). Penelitian Ford, et. al. (2021: 1-11) menemukan dampak polusi plastik berkaitan dengan perubahan iklim, hal ini dikarenakan produksi plastik sangat bergantung pada ekstraksi bahan bakar fosil dan konsumsi sumber daya yang terbatas serta polusi plastik juga sangat berbahaya bagi spesies dan ekosistem. Selain sampah plastik, sampah kertas juga menimbulkan dampak yang sama berbahayanya terhadap lingkungan, terutama karena kaitannya dengan deforestasi dan gas rumah kaca (Sicca, 2021). Dapat disimpulkan bahwa penggunaan sampah plastik dan sampah kertas dapat menimbulkan kekhawatiran besar terhadap keberlanjutan lingkungan ekologis di masa depan.

Pada penyelenggaraan Pemilu 2024, penggunaan bahan kertas dan plastik masih mendominasi. Dikutip dari data rilis KPU tentang logistik Pemilu Tahun 2024 serta identifikasi terhadap spesifikasi logistik sesuai dengan ketentuan dalam PKPU No.16/2023 tentang perubahan atas PKPU No.14/2023, maka diuraikan sebagai berikut:

Tabel.1 Jumlah dan Identifikasi Bahan Logistik Pemilu 2024

No.	Logistik	Jumlah dan satuan	Bahan
1	Kotak Suara	4.084.593 buah	Karton dupleks kedap air
2	Tinta	1.640.322 botol	Bahan Tinta <ul style="list-style-type: none"> • Kimiawi: Perak nitrat (AgNO₃) dengan kandungan 3% sampai dengan 4%, aquades, gentian violet, dan bahan campuran lainnya • Alami: gambir, kunyit, getah kayu, dan bahan campuran lainnya; Bahan botol tinta: Plastik
3	Bilik Pemungutan Suara	3.280.644 buah	Karton dupleks kedap air
4	Segel	78.378.738 keping	Kertas stiker pengaman pecah telur
5	Segel Plastik	21.170.356 buah	Biji plastik murni bukan daur ulang jenis polypropylene high density.
6	Surat Suara	1.208.921.320 lembar	Bubur kertas dan/atau daur ulang
7	Sampul	61.161.473 lembar	Kertas samson/kraft
8	Formulir	8.137.230 set	kertas HVS 80 g/m ²
9	Alat bantu tuna	1.604.322 lembar	kertas art carton minimal 190g/m ²
10	Daftar Pasangan Calon	820.161 lembar	kertas HVS 70 g/m ²
11	Daftar Calon Tetap	2.460.483 lembar	kertas HVS 70 g/m ²
12	Tanda Pengenal	24.604.830 buah	kertas art carton 160 g/m ²
13	Stiker Nomor	4.100.805 buah	kertas HVS
	Kotak Suara		
14	Salinan Daftar Pemilih	17.223.381 rangkap	Kertas HVS
15	Salinan Daftar Pemilih Pindahan	17.223.381 rangkap	Kertas HVS
16	Label Identitas	8.201.610 buah	kertas HVS
	Kotak Suara		
17	Kantong Plastik Selongsong	4.086.030 buah	Plastik
18	Kantong Plastik Besar	8.172.060 buah	Plastik

No.	Logistik	Jumlah dan satuan	Bahan
19	Kantong Sedang	Plastik 820.161 buah	Plastik
20	Kantong Kecil	Plastik 1.640.322 buah	Plastik
21	Kantong Ziplock	Plastik 805.386 buah	Plastik
22	Spidol	9.841.932 Buah	Plastik dan tinta
23	Bolpoin berwarna Biru	5.741.127 Buah	Plastik dan tinta
24	Lem Perekat	1.640.322 Buah	Plastik dan lem

Sumber: diolah oleh penulis, diperoleh dari PKPU No. 16/2023 (KPU, 2023) dan Rilis KPU (2024)

Sejauh ini upaya-upaya pengelolaan logistik ramah lingkungan yang dilakukan masih sebatas alternatif penggunaan bahan daur ulang yang digunakan pada surat suara (bubur kertas daur ulang), bilik suara (dupleks), kotak suara (dupleks) dan sampul (samson kraft). Untuk mengurangi dampak lingkungan ini, penting untuk mencari alternatif atau solusi jangka panjang dengan tidak hanya menyandarkan pada upaya penggunaan bahan daur ulang saja, akan tetapi dibutuhkan satu langkah visioner dengan mengurangi penggunaan logistik Pemilu berbahan plastik dan kertas dengan melakukan transformasi dokumen cetak menjadi dokumen digital.

Tidak hanya dalam penyelenggaraan Pemilu di Indonesia, permasalahan sampah plastik dan sampah kertas dalam Pemilu juga terjadi di Australia. Pasca pelaksanaan Pemilu Federal Tahun 2025, Australian Electoral Commission (AEC) selaku penyelenggara Pemilu setidaknya mengumpulkan 250 ribu pensil, 240 ribu rompi, 80 ribu kotak suara, dan 5 ribu gulung pita perekat anti-rusak dari 7 ribu tempat pemungutan suara. Meskipun pengelolaan logistik pasca Pemilu dimanfaatkan dengan metode daur ulang atau disumbangkan ke sekolah dan badan amal, AEC menyatakan bahwa sebagian besar perlengkapan seperti selotip anti-rusak, rompi, dan pensil, disimpan di pusat penghitungan suara di sela-sela pemilihan (Given et al., 2025).

Mengingat semakin meningkatnya keprihatinan terhadap masalah lingkungan akibat penyelenggaraan Pemilu di berbagai negara, kampanye penerapan Pemilu hijau (*Green Election*) kini menjadi perhatian global dalam proses Pemilu, baik bagi penyelenggara maupun kontestan Pemilu. Pemilu hijau hadir sebagai pilihan untuk membangun demokrasi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, dengan mendorong pengurangan jejak lingkungan negatif yang ditimbulkan dari seluruh proses Pemilu. Cakupannya meliputi berbagai aspek, dari pembuatan dan distribusi materi

kampanye hingga penanganan limbah pasca-Pemilu (Mohammed dalam Thalib, 2024:139). Lebih dari itu, konsep Pemilu hijau tidak hanya mencerminkan dedikasi terhadap nilai-nilai demokrasi, seperti inklusivitas dan partisipasi publik, tetapi juga menegaskan komitmen kuat terhadap konservasi lingkungan dan pengelolaan sumber daya yang berkelanjutan (Hoffman et al. dalam Thalib, 2024:139).

Inisiasi untuk mengurangi dampak lingkungan dari Pemilu telah diterapkan di beberapa negara di kawasan Asia-Pasifik, sebagaimana terjadi pada Pemilu di India, dimana Election Commission of India (ECI) telah mengampanyekan pengurangan penggunaan plastik sekali pakai sejak tahun 1999 hingga Pemilu 2019. ECI mendesak partai politik dan para kandidat untuk menghindari pemakaian plastik pada poster dan spanduk, serta mendorong penggunaan bilik suara yang mudah terurai. Selanjutnya, pada tahun 2019, Sri Lanka menunjukkan kepemimpinannya dalam menerapkan Pemilu yang ramah lingkungan dengan melacak emisi karbon dari kendaraan selama masa kampanye, serta menanam pohon dalam jumlah yang memadai di setiap distrik untuk mengkompensasi dampak lingkungan yang dihasilkan. Sementara itu, Filipina mengambil langkah inovatif dengan mendorong digitalisasi kampanye melalui media sosial. Inisiatif ini bertujuan untuk mengurangi sampah kertas dan plastik yang dihasilkan selama Pemilu (Asplund et al., 2024).

Sementara itu praktik Pemilu yang dilakukan beberapa negara sebagai alternatif dalam mewujudkan pemilu hijau yaitu melalui penerapan Pemilu berbasis digital dengan menggunakan pemilihan elektronik (*e-voting*). Sebagai sebuah konsep yang mengutamakan pengurangan dampak negatif pada lingkungan, Pemilu hijau mendorong penggunaan sumber daya yang efisien serta meminimalisasi limbah yang timbul terutama dari kertas dan plastik. Sementara *e-voting* muncul sebagai salah satu solusi teknologi digital yang berfokus pada sistem dimana pencatatan, pemberian suara atau pemilihan suara dalam Pemilu melibatkan teknologi informasi dan komunikasi (IDEA, 2011: 6). Lebih lanjut sistem *e-voting* dapat dilihat sebagai ‘proses bisnis’ dari rangkaian proses Pemilu, dan diharapkan dapat menekan dan mengurangi penggunaan kertas dalam pemungutan suara dan proses Pemilu (Haryati et al, 2014, Asfia, 2023). Selain itu, Dewanti (2019) dalam kajian reflektifnya juga berkesimpulan bahwa *e-voting* pada Pemilu berpotensi mempercepat proses rekapitulasi serta mengantisipasi terjadinya kelelahan petugas karena beban kerja yang berat (Dewanti, 2019: 29).

Meskipun kelebihan yang ditawarkan *e-voting* sangat menjanjikan dalam memenuhi kebutuhan akan penerapan Pemilu berbasis digital, terdapat juga tantangan yang perlu dipertimbangkan apabila ingin menerapkan *e-voting* dalam Pemilu, terkhususnya apabila diproyeksikan di Indonesia. Pertama, belum adanya landasan regulasi secara khusus untuk memastikan legitimasi dan perlindungan hukum penggunaan *e-voting*.

Sehingga apabila diterapkan berisiko gagal dan rawan terjadi sengketa hasil Pemilu (Hidayah, 2022; Kusuma, 2024: 1317). Kedua, banyak daerah yang masih belum tersentuh jaringan internet, akibat infrastruktur teknologi informasi yang belum merata, terutama di daerah-daerah terpencil di Indonesia (Kompas, 2025). Ketiga, rentannya keamanan siber dan integritas data Pemilu. Kebocoran data pemilih pada Pemilu 2024 menunjukan bahwa sistem keamanan teknologi informasi KPU masih cukup rawan (Umagapi, 2023: 3).

Untuk kondisi saat ini, rasanya *e-voting* belum ideal untuk dijadikan pilihan penyelenggara Pemilu berbasis digital dan mungkin menjadi proyeksi jangka panjang di masa depan. Bahkan di beberapa negara seperti Bahrain, Venezuela, Belanda, Filipina dan Irlandia yang sudah menerapkan *e-voting* sekalipun mengalami banyak kegagalan dalam pengoperasian, kesiapan sumber daya dan keamanan sistem. Hal ini diperkuat dalam penelitian IDEA (2011) pada matriks kelemahan dan kelebihan sistem *e-voting*, baik melalui internet maupun mesin pemungutan suara, aspek seperti infrastruktur, persyaratan keamanan, kurangnya standar *e-voting*, serta ketergantungan pada vendor dikategorikan sebagai 'kelemahan' (IDEA, 2011: 30).

Berbeda dengan alternatif yang ditawarkan di atas, penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengedepankan penerapan digitalisasi melalui sertifikat elektronik dan Tanda Tangan Elektronik (TTE/*digital signature*) pada dokumen penghitungan dan rekapitulasi suara. Meskipun pada prinsipnya *e-voting* dan sertifikat elektronik sama-sama mengadopsi teknologi informasi dalam pengoperasiannya, sertifikasi elektronik sejauh ini telah memiliki payung hukum yang lebih kuat, ditambah lagi sertifikasi elektronik sudah banyak diterapkan dalam berbagai aspek. Penelitian Amalia, et.al., (2023) tentang penerapan *digital signature* pada tata naskah dinas elektronik di Direktorat Jenderal Kependudukan dan Pencatatan Sipil, menyimpulkan penerapan *digital signature* berhasil mengefisienkan waktu perolehan dokumen yang akan ditandatangani serta meningkatkan aksesibilitas bagi pimpinan dan lembaga dalam peningkatan pelayanan administrasi pada saat tidak berada di lingkungan kantor.

Lebih lanjut, penelitian Pratama dan Sa'adah (2023) juga menemukan bahwa penerapan *digital signature* pada Badan Pertanahanan Nasional (BPN) terbukti mampu dipergunakan selaku alat bukti yang sah serta teruji dari segi keamanannya. Kementerian Keuangan sendiri telah merasakan dampak positif dari penerapan digital signature pada dokumen transaksi SPP (Surat Permintaan Pembayaran) dan SPM (Surat Perintah Membayar), diantaranya yaitu mekanisme pengesahan dokumen pembayaran dari manual menjadi sistem elektronik, format dokumen pembayaran dalam bentuk digital, mekanisme dan prosedur pengujian dokumen pembayaran menggunakan sistem elektronik, kemudahan otorisasi SAKTI, pengiriman dokumen dan

arsip data komputer (ADK) menjadi lebih cepat, keamanan transaksi lebih terjamin, efisien dan *paperless* (Kemenkeu, 2024).

Secara Yuridis, dalam Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2016 (UU No. 19/2016) tentang perubahan atas UU No. 11/2008 tentang Informasi dan Transaksi Elektronik serta Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2012 (PP No. 82/2012) tentang Penyelenggara Sistem dan Transaksi Elektronik, dijelaskan bahwa sertifikat elektronik adalah sertifikat yang bersifat elektronik yang memuat tanda tangan elektronik dan identitas yang menunjukkan status subjek hukum para pihak dalam transaksi elektronik yang dikeluarkan oleh penyelenggara sertifikasi elektronik. Lebih lanjut saat memiliki tanda tangan elektronik yang tersertifikasi, pemilik tanda tangan telah memiliki kekuatan hukum dan akibat hukum yang sah dalam penggunaannya. Melihat kondisi penyelenggaraan Pemilu saat ini, tentunya sertifikat elektronik menjadi pilihan yang sangat efektif dalam mentransformasikan dokumen fisik menjadi dokumen digital. Penerapan sertifikasi elektronik yang telah sukses dilaksanakan di berbagai bidang administrasi dan layanan pemerintah, membuka peluang besar bagi penyelenggaraan Pemilu untuk mengadopsi sertifikasi elektronik dalam tata kelola dokumen Pemilu guna meningkatkan kualitas Pemilu yang lebih efektif, efisien, transparan dan berkelanjutan.

Dalam perkembangannya, sertifikasi elektronik juga menjadi salah satu produk teknologi informasi yang hadir memberikan solusi di sektor pengelolaan pemerintahan, terutama sejak munculnya konsep pelayanan publik melalui *e-government*. World Bank selaku lembaga *leading sector* dalam pengembangan konsep *e-government* mendefinisikan *e-government* sebagai instrumen utama dalam tata kelola pemerintahan yang baik di era teknologi informasi dengan fokus pada reformasi internal, peningkatan pelayanan publik dan pemberdayaan masyarakat (World Bank, 2002). Selain sektor sentral pelayanan publik, penggunaan teknologi informasi juga mulai lazim diterapkan dalam tata kelola Pemilu, hal ini bertujuan untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi penyelenggaraan Pemilu itu sendiri. Contohnya penggunaan aplikasi Sistem Informasi Rekapitulasi (SIREKAP) yang berfungsi untuk mempercepat proses rekapitulasi suara dari tingkat TPS hingga tingkat nasional, sehingga memungkinkan data pemungutan suara ditransfer secara real-time ke pusat data KPU. Penggunaan *digital signature* dalam hubungannya dengan teknologi informasi *e-government* akan memungkinkan pemerintah lebih berdaya guna serta efisien dalam pelayanan publik, proses administrasi, serta komunikasi internal. Pembubuhan tanda tangan elektronik bisa dilakukan dari jarak jauh, alhasil menghemat durasi serta meningkatkan keamanan (karena sulit dipalsukan) (Izzah dan Sugandha, 2021:8).

Selain itu, sertifikasi elektronik juga memberikan kontribusi positif bagi lingkungan dengan mengedepankan inovasi teknologi dalam mengurangi penggunaan kertas pada dokumen Pemilu konvensional. Kontribusi ini sejalan dengan semangat tata kelola hijau (*green governance*) yang mengedepankan pengelolaan lingkungan hidup secara berkelanjutan dengan mengedepankan inovasi baru serta menekankan semua pihak termasuk lembaga pemerintah sebagai subjek kunci dalam pelaksanaannya (Li et al, 2018: 16).

Adapun beberapa pertimbangan mengapa sertifikasi elektronik menjadi alternatif yang tepat pada penyelenggaraan Pemilu berbasis digital yaitu, pertama, upaya pengurangan sampah dapat dioptimalkan, karena dengan penerapan sertifikasi elektronik maka penggunaan formulir berbahan kertas seperti C.HASIL dan C.HASIL SALINAN dapat digantikan dengan dokumen digital. Lebih lanjut proses penggandaan atau duplikasi dokumen C.HASIL SALINAN dapat distribusikan secara digital. Kedua, sertifikasi elektronik sebagai alternatif autentikasi yang menjamin keaslian dan integritas data. Dengan menggunakan sertifikat elektronik, dokumen penghitungan dan rekapitulasi dapat diverifikasi keabsahannya secara cepat dan aman. Sertifikasi ini mencegah manipulasi atau perubahan data yang tidak sah, karena setiap dokumen memiliki cap digital yang terhubung dengan identitas resmi penyelenggara atau lembaga terkait. Ketiga, sertifikasi elektronik memungkinkan efisiensi dan transparansi yang lebih baik dalam pengelolaan dokumen Pemilu. Alternatif ini memiliki keuntungan mengurangi proses manual yang menggunakan dokumen cetak yang rentan terhadap kesalahan manusia, seperti salah cetak atau kehilangan dokumen.

Saat ini KPU telah memiliki regulasi terkait sistem pemerintahan berbasis elektronik yang tertuang pada PKPU No.5/2021 sebagai pedoman dalam mengintegrasikan dan mengelola sistem teknologi informasi dan komunikasi untuk mendukung seluruh tugas dan fungsi penyelenggaraan Pemilu yang lebih modern dan akuntabel. Meskipun sertifikasi elektronik belum diatur secara khusus di dalamnya, tetapi hal ini menjadi tantangan KPU dalam menyelenggarakan Pemilu yang lebih efisien, inovatif dan berkelanjutan mengingat kesuksesan penerapannya di berbagai sektor lembaga pemerintah. Di era digital, sertifikasi elektronik merupakan suatu bagian dari inovasi teknologi digital yang mengutamakan fokus pada proses desain dan pelaksanaan kombinasi antara komponen digital dan fisik untuk menghasilkan produk-produk baru (D. A. Skog et al, 2018: 433). Penerapan sertifikasi elektronik pada Pemilu mulai memiliki urgensi di era perkembangan dan inovasi teknologi yang semakin maju, karena sebuah penyelenggaraan Pemilu tidak selamanya disandarkan pada proses yang bersifat konvensional/manual dengan penggunaan dokumen-dokumen fisik/cetak. Sertifikasi elektronik dapat menjawab kebutuhan akan penyelenggaraan Pemilu yang mengkombinasikan antara dokumen digital

dan dokumen fisik yang belum bisa dihilangkan seperti surat suara, kotak suara, bilik suara.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah kualitatif deskriptif dengan studi kepustakaan sebagai sumber data utama. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan dan menginterpretasikan suatu fenomena—khususnya terkait tata kelola dokumen Pemilu dengan penerapan sertifikasi elektronik—secara mendalam dan apa adanya. Fokusnya bukan pada pengujian hipotesis atau hubungan sebab-akibat statistik, melainkan pada pemahaman konteks, proses, dan makna dari fenomena yang diteliti. Penelitian ini berupaya memberikan gambaran yang kaya dan rinci tentang ‘kebaruan’ dalam tata kelola dokumen Pemilu. Sebagaimana dikonseptualisasikan oleh John W. Creswell (2014), studi pustaka merupakan pendekatan metode penelitian yang bertujuan untuk mendeskripsikan atau menggambarkan suatu fenomena secara rinci dan mendalam berdasarkan data yang diperoleh dari studi literatur tanpa berinteraksi dengan subjek penelitian. Oleh karena itu, penelitian ini sepenuhnya mengandalkan data sekunder yang bersumber dari literatur. Ini berarti penyusun tidak melakukan survei, wawancara, observasi, atau interaksi langsung dengan subjek penelitian di lapangan. Keunggulan dari metode ini adalah kemampuannya untuk mensintesiskan berbagai perspektif, teori, dan temuan dari berbagai sumber kredibel untuk membangun argumen dan interpretasi yang kuat.

Adapun teknik pengumpulan data berfokus pada dua pilar utama, yaitu literatur ilmiah terkurasi dan regulasi hukum. Reduksi dan seleksi literatur merupakan tahap awal yang sangat krusial dalam studi kepustakaan pada penelitian ini, yang meliputi:

1. *Pencarian sistematis*, dimana penyusun melakukan pencarian data dan informasi dari sumber-sumber yang kredibel dan terkurasi, yaitu buku, jurnal, artikel ilmiah, warta berita, dan laporan penelitian;
2. *Fokus tematik*, di mana pencarian difokuskan pada tema-tema spesifik yang relevan dengan penelitian, yaitu logistik Pemilu, sertifikat elektronik, digitalisasi, dan Pemilu hijau, hal ini guna menjaga validitas internal penelitian agar tetap relevan dengan fokus utama yaitu penerapan sertifikasi elektronik pada dokumen Pemilu;
3. *Reduksi data*, di mana proses ini memilih (menentukan sumber yang paling relevan), memfokuskan (menarik intisari informasi yang menunjang argumen), dan menyederhanakan (menghilangkan informasi yang tidak esensial). Tujuannya adalah untuk mendapatkan data yang paling padat, relevan, dan terpercaya.
4. Selanjutnya untuk memberikan landasan hukum yang kuat, penelitian ini menggunakan pendekatan regulasi hukum melalui

penafsiran terhadap aspek normatif, yuridis dan regulatif. Pada proses analisis, penyusun melakukan setidaknya 3 (tiga) tahapan analisis, yaitu:

- a. *Analisis mendalam*, dimana data yang telah terkategorisasi dianalisis untuk menjelaskan dan memahami bagaimana penerapan sertifikasi elektronik dapat menginterpretasikan kebaruan dalam tata kelola dokumen Pemilu;
- b. *Sintesis argumen*, di mana penyusun melakukan sintesis antara temuan-temuan dari literatur dan kerangka hukum untuk menghasilkan temuan deskriptif yang menjelaskan inovasi, tantangan, manfaat, dan implikasi hukum dari digitalisasi dokumen Pemilu; serta
- c. *Hasil akhir*, dimana dilakukan proses interpretasi untuk menghasilkan deskripsi yang komprehensif mengenai potensi, implementasi, dan kerangka legal dari sertifikasi elektronik dalam konteks logistik dan tata kelola Pemilu yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Pemilu hijau).

Metode ini secara keseluruhan diharapkan efektif untuk menghasilkan kerangka konseptual atau analisis kebijakan yang didasarkan pada tinjauan literatur yang kuat dan landasan hukum yang kokoh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Digitalisasi Dokumen Pemungutan, Penghitungan dan Rekapitulasi Pemilu: Kebutuhan atau Keharusan?

Tahapan penghitungan dan rekapitulasi merupakan puncak dari pelaksanaan Pemilu di tingkat badan adhoc dimana semua hasil perolehan suara untuk Pemilihan Presiden dan Wakil Presiden, DPR RI, DPD, DPRD-Provinsi, DPRD-Kab/Kota dihitung di TPS dan dilakukan rekapitulasi berjenjang dari tingkat Kecamatan hingga tingkatan di atasnya.

Ditengah pujian penyelenggaraan Pemilu tahun 2024 yang diklaim sukses dengan tingkat partisipasi pemilih menyentuh angka 82% (Amin, 2024), terdapat beberapa hal yang menjadi catatan dalam pelaksanaan Pemilu yaitu antara lain model keserentakan Pemilu untuk 5 jenis Pemilihan yang berakibat pada beratnya beban kerja petugas KPPS, tidak sinkronnya data antara pengguna hak pilih, mesin pengganda yang tidak dapat beroperasi serta server SIREKAP yang mengalami masalah (Saptowalyono, 2024). Selain itu, berdasarkan temuan Bawaslu, terdapat beberapa permasalahan teknis yang terjadi yaitu terdapat 11.233 TPS dimana pengawas Pemilu, saksi, dan/atau masyarakat tidak dapat mengakses SIREKAP, serta terdapat 1.895 TPS tidak memberikan C.HASIL SALINAN kepada pengawas TPS yang terjadi di Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, DKI Jakarta, Banten, Sumatera Utara, Sumatera Selatan, Lampung, Riau, dan Yogyakarta (Bawaslu, 2024). Jika ditinjau pada PKPU No. 25/2023,

penelitian ini menemukan bahwa terdapat kompleksitas pada proses pemungutan dan penghitungan suara yang menyebabkan terjadinya permasalahan teknis sebagaimana disebutkan di atas.

Pertama, kompleksitas sistem ini terletak pada prosesnya yang manual, kompleks dan berlapis. Proses dimulai dengan Pemilih yang mencoblos pada lima jenis surat suara berbeda. Setelah pemungutan suara selesai, setiap perolehan suara dari masing-masing jenis pemilihan harus dihitung secara manual dan selanjutnya disebutkan pada pasal 56 ayat (1) dan ayat (2) bahwa perolehan suara dan jumlah surat suara digunakan dicatat ke dalam formulir Model C.HASIL (lima jenis pemilihan). Setelah pencatatan, pada Pasal 58 ayat (1) dijelaskan anggota KPPS dan saksi yang hadir dan bersedia kemudian menandatangani formulir C. HASIL tersebut. Tidak berhenti sampai disitu, setelah formulir C.HASIL ditandatangani oleh KPPS dan saksi, disebutkan pada Pasal 60 ayat (1) KPPS mengisi formulir C. HASIL SALINAN berdasarkan data yang terdapat pada C.HASIL. Selanjutnya formulir C. HASIL SALINAN ditandatangani kembali oleh KPPS dan saksi yang hadir dan bersedia. Proses yang kompleks ini tentunya menimbulkan beban kerja yang sangat besar bagi KPPS, dengan proses pencatatan dan penandatanganan dokumen yang berulang, sangat wajar terjadinya kesalahan teknis dan *human error* dalam proses pemungutan dan penghitungan suara.

Fenomena ini sebenarnya sudah ditemukan pada penelitian Febriansyah dan Husnayanti (2019) pada penyelenggaraan Pemilu 2019 sebelumnya di Kabupaten Bangka tengah yang menyimpulkan bahwa beban kerja KPPS yang *overload* terletak di proses penghitungan dan rekapitulasi. Terlebih lagi pada proses menyalin dokumen C1-PLANO dan proses penandatangan C1-SALINAN yang melibatkan hampir seluruh KPPS terkhususnya pada dokumen pemilihan anggota DPR, DPRD Provinsi dan DPRD Kabupaten/Kota. Dalam rekomendasinya menyebutkan perlu dilakukan penyederhanaan sistem Pemilu. Lebih lanjut, kompleksitas penghitungan suara ini juga ditemukan dalam penelitian Jalaluddin (2019) dimana pada kesimpulannya menyebutkan aspek penghitungan suara menjadi faktor utama yang mengakibatkan penurunan stamina petugas dan kurangnya waktu istirahat petugas, dikarenakan proses penghitungan suara membutuhkan waktu yang lebih lama meskipun telah diberikan perpanjangan waktu selama 12 jam dari hari terakhir pemungutan suara. Hal ini diperkuat dari salah satu pengakuan petugas KPPS di TPS 47, Kelurahan Larangan Selatan Kota Tangerang menyebutkan “hal yang memberatkan adalah saat menghitung dan merekap surat suara anggota DPR, DPD dan DPRD Provinsi, dan DPRD Kota/Kabupaten (Azizah, 2024). Temuan lain dilapangan yaitu di Kapanewon Wates, Yogyakarta yang mengalami keterlambatan penyerahan logistik kembali ke PPK karena imbas dari proses penghitungan yang belum selesai seluruhnya serta petugas KPPS

masih harus menyalin dokumen dari C.HASIL ke C.HASIL SALINAN yang jumlahnya cukup banyak mencapai 66 lembar (Hamda, 2024).

Kedua, sebagai akibat proses manual dan berlapis pada pemungutan dan penghitungan suara, maka secara langsung berdampak terhadap penggunaan dokumen cetak berbahan kertas dengan jumlah yang besar. Lebih lanjut untuk memastikan transparansi dan akuntabilitas, KPPS juga diwajibkan memberikan C.HASIL SALINAN kepada saksi yang hadir, pengawas TPS dan PPK melalui PPS. Proses penyalinan manual dan penyerahan kepada berbagai pihak ini menambah jam kerja KPPS secara signifikan sekaligus menggambarkan betapa rumitnya logistik yang harus diatasi untuk memastikan setiap pihak yang berkepentingan memiliki salinan sah dari hasil penghitungan suara. Ambil saja contohnya yang terjadi di salah satu TPS di Kabupaten Kerinci, Provinsi Jambi. Jika diestimasikan penggunaan kertas formulir per TPS dengan 5 jenis pemilihan, maka hasilnya diuraikan sebagai berikut:

Tabel 2. Estimasi Jumlah Penggunaan Kertas pada Formulir
C. Hasil dan C. Hasil Salinan terhadap 5 Jenis Pemilihan per TPS

Jenis Pemilihan	Jumlah Lembar Formulir C. Hasil (lembar)	Jumlah Lembar Formulir C. Hasil Salinan (lembar)	Salinan yang didistribusikan ke Saksi	Total Jumlah Lembar
a	b	c	d	b + (cxd)
Presiden dan Wakil Presiden	3	2	3	9
DPR-RI	20	7	18	146
DPD	4	3	18	58
DPRD-Provinsi	20	7	18	146
DPRD-Kabupaten	20	7	18	146
Dapil 1				
DPRD-Kabupaten	20	7	18	146
Dapil 2				
DPRD-Kabupaten	20	7	18	146
Dapil 3				
DPRD-Kabupaten	20	7	18	146
Dapil 4				
DPRD-Kabupaten	20	7	18	146
Dapil 5				
Total				1.089

Sumber: diolah oleh penulis, diperoleh dari PKPU No. 25/2023 (KPU, 2023)

Pada tabel di atas menunjukkan estimasi total penggunaan kertas per TPS sebanyak 1.089 lembar, sehingga sangat wajar petugas KPPS membutuhkan waktu yang lama dalam pencatatan hasil penghitungan suara, ditambah lagi waktu yang diperlukan KPPS dan saksi yang hadir dalam proses penandatanganan pada setiap lembar formulir C.HASIL dan C.HASIL SALINAN. Hal ini secara langsung berdampak pada beban kerja yang sangat berat bagi petugas KPPS yang dapat mengakibatkan terjadinya kelelahan, hilangnya fokus dan konsentrasi petugas. Sehingga tidak heran pada Pemilu 2024, banyak anggota KPPS yang mengalami kelelahan dimana tercatat 14.364 orang mengalami sakit dan bahkan terdapat 108 orang yang meninggal dunia (Tempo, 2024).

Ketiga, kelemahan integrasi sistem manual dan digital pada aplikasi SIREKAP. Setelah dilakukan pencatatan dan penandatanganan formulir C.HASIL secara manual, disebutkan pada Pasal 58 ayat (3) Ketua KPPS memiliki tugas tambahan untuk memotret formulir tersebut dan mengunggahnya ke SIREKAP. Meskipun SIREKAP bertujuan sebagai alat bantu untuk mempermudah publikasi dan rekapitulasi, akan tetapi seperti dalam temuan Bawaslu pada Pemilu 2024, penggunaan sistem ganda ini juga menjadi sumber potensi masalah. Proses pemotretan dan pengunggahan manual dapat menimbulkan kesalahan atau ketidaksesuaian data antara formulir kertas dan data digital, yang sering kali memerlukan verifikasi ulang dan dapat memperlambat proses secara keseluruhan.

Berdasarkan kompleksitas yang diuraikan diatas, penelitian ini coba menawarkan solusi terhadap penerapan digitalisasi pada dokumen penghitungan suara. Digitalisasi dalam hal ini menekankan proses konversi dari manual ke penggunaan teknologi dan data digital untuk meningkatkan kinerja, efisiensi, atau model bisnis (Ritter dan Pedersen, 2020: 181-182). Penerapan digitalisasi pada Pemilu dapat menjawab permasalahan Pemilu konvensional yang bersifat manual dan rentan terhadap kesalahan manusia serta memakan waktu lama, terutama dalam penghitungan dan rekapitulasi suara. Dengan mengkonversi proses menjadi digital, waktu dapat dipangkas secara drastis dan data digital bergerak lebih cepat, sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan penyelenggaraan Pemilu. Selain itu, penggunaan teknologi dan data digital memungkinkan verifikasi dan validasi data yang lebih akurat.

Lebih lanjut Brennen dan Kreiss (2016) juga mendefinisikan digitalisasi sebagai proses transformasi sosial dan teknologi yang melibatkan adopsi teknologi digital untuk mengubah cara organisasi, masyarakat, atau individu beroperasi. Proses ini mencakup perubahan dalam struktur, proses, dan interaksi sosial yang didorong oleh teknologi digital seperti internet, perangkat lunak, dan data digital. Konsep ini menekankan dampak yang lebih luas pada budaya, ekonomi, dan politik. Dalam hal ini digitalisasi

dokumen Pemilu dapat mengadopsi perangkat lunak dan sistem *database* untuk mengelola dokumen penting (Daftar Pemilih, Berita Acara Penghitungan Suara) serta secara bertahap memindahkan kepercayaan dari keamanan dokumen kertas ke keamanan dan aksesibilitas data digital. Selain itu, hal ini juga meningkatkan transparansi dan akuntabilitas KPU secara keseluruhan, memungkinkan pengawasan publik yang lebih intensif dikarenakan dokumen hasil Pemilu tersedia secara digital untuk publik (misalnya, melalui portal data terbuka).

Sementara itu menurut Tomasz (2015) Digitalisasi administrasi merujuk pada penerapan teknologi digital untuk mengubah proses administrasi pemerintahan dari sistem berbasis kertas menjadi sistem berbasis elektronik. Ini mencakup penggunaan sistem manajemen dokumen elektronik, database terintegrasi, dan platform *e-government* untuk meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya, dan mempercepat pelayanan kepada masyarakat. Dalam hal ini penerapan digitalisasi dalam dokumen Pemilu sebagai suatu proses administrasi dengan mengkonversi dokumen berbasis kertas menjadi dokumen elektronik dalam rangka meningkatkan efisiensi dan efektifitas kerja dalam penyelenggaraan Pemilu.

Meskipun dokumen pemungutan suara belum sepenuhnya dapat digitalisasi seperti penggunaan kertas pada surat suara, akan tetapi dokumen pemungutan suara seperti Daftar Pasangan Calon, Daftar Calon Tetap, Salinan Daftar Pemilih Tetap, Salinan Daftar Pemilih Pindahan sangat memungkinkan digantikan menjadi bentuk digital dengan opsi menambahkan media layar elektronik sebagai wadah visualnya di TPS. Begitu juga halnya dokumen penghitungan dan rekapitulasi suara yang dapat ditransformasikan menjadi dokumen digital. Keuntungannya yaitu pencatatan hasil penghitungan suara disaksikan seluruh saksi dan pengawas TPS pada layar elektronik dan hanya dilakukan sekali, kemudian proses penyerahan salinan dilakukan secara digital.

Digitalisasi pada dokumen pemungutan dan penghitungan suara secara langsung dapat mengurangi penggunaan dokumen kertas yang selama ini menjadi penyebab timbulnya logistik yang tidak terkelola pasca Pemilu. Bahkan jika konsep ini diterapkan secara optimal pada penyelenggaraan Pemilu dengan dukungan dari aspek regulasi, infrastruktur serta sumber daya manusia, bukan tidak mungkin kebutuhan akan penggunaan kertas dapat dihilangkan, tercapainya proses pemungutan dan penghitungan suara yang lebih sederhana, serta mengurangi beban tugas KPPS untuk menghindari terjadinya resiko kelelahan yang mengakibatkan sakit dan kematian pada penyelenggara.

Penerapan Digital Signature dalam Dokumen Pemilu

Digitalisasi dokumen Pemilu tentunya harus sejalan dengan aspek keabsahan, keaslian dan integritas suatu dokumen. Dalam rangka

mewujudkan hal tersebut, *digital signature* menjadi solusi akan kebutuhan dokumen digital yang membutuhkan keabsahan, keaslian dan integritas di setiap prosesnya. Selain untuk efisiensi proses, penerapan *digital signature* pada dokumen pemungutan dan penghitungan suara adalah isu menarik yang punya potensi besar untuk meningkatkan keamanan, transparansi, dan integritas proses demokrasi. Implementasi paling aktual pemanfaatan *digital signature* banyak ditemui terutama di bidang perbankan, perdagangan saham, dan transaksi elektronik lainnya, yang semakin bergantung pada data digital untuk meminimalisir biaya operasional dan peningkatan layanan, ketimbang jika dokumen misalnya harus ditandatangani dan diabsahkan secara fisik (Subramanya dan Yi, 2006: 5).

Sementara itu landasan yuridis sertifikasi elektronik secara tegas diatur dalam UU No. 19/2016 tentang perubahan atas UU No. 11/2008 serta PP No. 82/2012, dijelaskan bahwa sertifikat elektronik adalah sertifikat yang bersifat elektronik yang memuat tanda tangan elektronik dan identitas yang menunjukkan status subjek hukum para pihak dalam transaksi elektronik yang dikeluarkan oleh penyelenggara sertifikasi elektronik. Artinya pemilik tanda tangan elektronik yang tersertifikasi telah memiliki kekuatan hukum dan akibat hukum yang sah dalam penggunaannya. Selain itu hal ini didukung dengan adanya Penyelenggara Sertifikasi Elektronik (PSrE) yaitu badan hukum yang menerbitkan sertifikat elektronik dan tanda tangan digital untuk keperluan transaksi elektronik yang sah secara hukum di Indonesia. BSrE (Balai Sertifikasi Elektronik) adalah salah satu PSrE pemerintah yang berada di bawah Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN). Terlebih lagi adopsi *digital signature* bersertifikasi sudah masif dilakukan di berbagai lembaga pemerintah dalam rangka Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik (SPBE) seperti Badan Pertanahan Nasional dan Kementerian Keuangan.

Dengan transformasi digital yang semakin meluas, terutama dipercepat oleh pandemi COVID-19, penggunaan *digital signature* menjadi krusial untuk memastikan transaksi bisnis berjalan cepat dan andal. *Digital signature* menawarkan keunggulan seperti keamanan lebih baik, fleksibilitas, dan efisiensi dibandingkan dokumen kertas, tetapi memerlukan mekanisme autentikasi seperti tanda tangan digital untuk mencegah pemalsuan (Cavus dan Sancar, 2023: 14). Secara teknis, *digital signature* adalah mekanisme kriptografi modern yang digunakan untuk memverifikasi keaslian dan integritas dokumen digital (Prabowo dan Afrianto, 2017: 84). Seperti halnya proses autentikasi melalui tanda tangan fisik, *digital signature* dianggap lebih aman karena menggunakan teknologi enkripsi, biasanya berbasis *Public Key Infrastructure*. Agustina dan Kurniati (2009) menjelaskan aspek-aspek keamanan dalam kriptografi yang meliputi:

1. Kerahsian: merupakan usaha untuk menjaga informasi dari orang yang tidak berhak mengakses
2. Keaslian: dokumen benar-benar berasal dari pihak yang diklaim;
3. Integritas: dokumen tidak diubah setelah ditandatangani;
4. Non-repudiation: penandatangan tidak bisa menyangkal bahwa mereka menandatangani dokumen.

Untuk penerapan pada dokumen pemungutan dan penghitungan suara, seperti formulir C.HASIL dan C.HASIL SALINAN dalam Pemilu di Indonesia, *digital signature* menawarkan solusi yang sangat relevan. Sistem ini dapat diintegrasikan ke dalam aplikasi seperti SIREKAP, dengan BSSN berperan sebagai otoritas sertifikasi untuk menerbitkan sertifikat digital kepada petugas Pemilu (misalnya KPPS). Kunci privat dapat disimpan dalam perangkat aman seperti kartu pintar atau aplikasi ponsel, sementara kunci publik dapat dimanfaatkan oleh masyarakat untuk memverifikasi keaslian dokumen melalui portal resmi KPU. Sistem ini dirancang dengan pendekatan hibrida (online-offline) untuk mengatasi keterbatasan koneksi di daerah terpencil, dengan penyimpanan data di *cloud* untuk memastikan transparansi. Manfaat utamanya mencakup perlindungan terhadap pemalsuan, jaminan integritas data, dan prinsip *non-repudiation* yang meningkatkan akuntabilitas petugas, sehingga memperkuat kepercayaan publik.

Adapun beberapa tantangan serta solusi yang ditawarkan dalam implementasi sertifikasi dan tanda tangan elektronik yaitu:

1. Kesiapan Infrastruktur Daerah

Beberapa daerah yang terkendala dengan infrastruktur teknologi terkhususnya di daerah 3 T (terjauh, terluar, tertinggal) terutama kesiapan jaringan internet dapat diselesaikan dengan melakukan kerja sama provider internet melalui layanan internet satelit yang saat ini sudah mulai diterapkan di beberapa desa yang sulit dijangkau. Contohnya saat ini layanan PSN (Pasifik Satelit Nusantara) meluncurkan Satelit Nusantara Lima (SNL) pada September 2025 yang pada tujuannya untuk menghadirkan layanan internet di seluruh desa di Indonesia. Program ini juga dikolaborasikan untuk memperkuat Koperasi Merah Putih yang menjadi bagian dari program prioritas pemerintah (Yahfadzka, 2025). Lebih lanjut, untuk pengoperasian sertifikasi elektronik dan tanda tangan elektronik dapat diinisiasi antara KPU, BSrE dan penyedia layanan/pengembang aplikasi untuk mengembangkan sistem yang mudah digunakan serta dioperasikan melalui layanan internet. Selain itu pemerintah juga dapat mendorong penggunaan sertifikasi dan tanda tangan elektronik sampai ke tingkat pemerintahan desa guna memudahkan pengaplikasian pada saat mulai diterapkan pada penyelenggaraan Pemilu. Implementasi dapat dimulai dengan proyek

percontohan di wilayah perkotaan seperti Jakarta diikuti sampai ke tingkat desa-desa dengan kategori 3T. Penerapan ini tentunya didukung penguatan regulasi sesuai Undang-Undang Informasi dan Transaksi Elektronik (UU ITE), untuk menjamin pemilihan yang lebih transparan dan terpercaya.

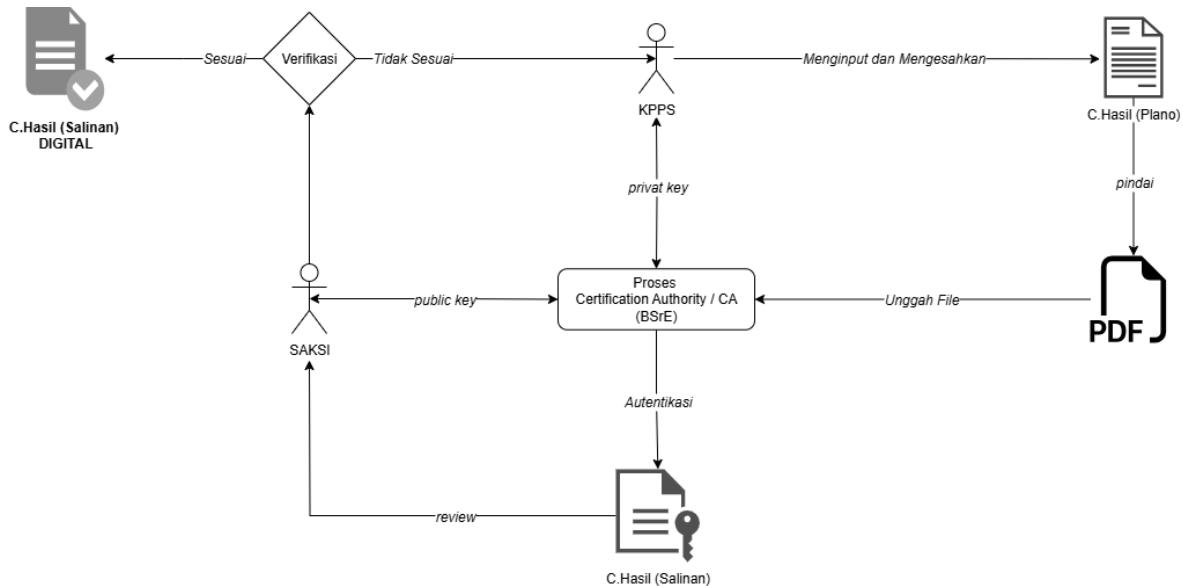
2. Literasi Digital

Pada tahun 2025 jumlah pengguna internet di Indonesia pada semester pertama 2025 mencapai tepatnya 229,4 juta jiwa, dari jumlah ini, Generasi Z, Milenial, dan Generasi Alpha menjadi kelompok generasi yang paling dominan terkoneksi internet (Riyanto dan Pertiwi, 2025). Data ini menjadi peluang besar dalam mensosialisasikan penerapan sertifikasi dan tanda tangan elektronik di media sosial dan online lainnya seperti Youtube, Facebook, Instagram, website, Twitter/X, yang saat ini sudah digunakan lembaga pemerintah sebagai media sosialisasi bagi masyarakat. KPU sebagai penyelenggara Pemilu dapat menjalin kerja sama dengan *stakeholder* terkait seperti Kementerian Komunikasi dan Digital (Komdigi) di tingkat pusat dan Badan Kesatuan Bangsa dan Politik (Kesbangpol) di daerah. Untuk petugas sendiri dapat dibekali dengan bimbingan teknis berbasis digital seperti pada saat pengoperasian aplikasi SIREKAP.

3. Biaya

Berdasarkan Standar Pelayanan BSrE Nomor 11 Tahun 2024 bahwa tarif pelayanan berupa layanan tanda tangan elektronik, segel elektronik, modul sertifikasi elektronik, manajemen sertifikat elektronik, uji penerapan, konsultasi, bimbingan teknis dan sosialisasi tidak dikenakan biaya atau gratis. Hal ini menjadi salah satu peluang yang sangat efisien bagi KPU dan Pemerintah dengan memprioritaskan kerja sama dengan BSrE dalam membangun sistem ini dalam Pemilu. Sementara itu dalam pembangunan infrastruktur di daerah sampai ke daerah 3T dapat melibatkan Kementerian Desa untuk mendorong pembangunan infrastruktur teknologi digital terkhususnya internet melalui kolaborasi program dana desa. Dibandingkan dengan *e-voting* yang menggunakan sistem yang lebih kompleks dengan mesin pemungutan suara, sistem pengoperasian yang mahal, rasanya sertifikasi elektronik dan tanda tangan elektronik jauh lebih mudah dan efisien karena sudah didukung dengan kehadiran BSrE dan telah teruji penerapannya di berbagai lembaga pemerintah.

Gambar 2.
Bagan Proses Penerapan Digital Signature Pada Dokumen Penghitungan dan Rekapitulasi Suara



Sumber: diolah oleh Penulis (2025)

Adapun bagan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. KPPS menerima *private key* dari BSR-E selaku pihak yang berwenang dalam menerbitkan sertifikat elektronik (*Certification Authority/CA*);
2. KPPS menginput dan mengesahkan C.HASIL sesuai penghitungan hasil perolehan suara;
3. C.HASIL selanjutnya dipindai untuk menjadi format digital. Dalam melakukan pindai, KPPS memastikan hasil pemindaian jelas dan terbaca dengan baik;
4. Output dokumen yang telah didigitalisasi dalam format elektronik (pdf) diunggah ke server terpusat BSR-E untuk diautentikasi. Autentikasi memperhatikan kesesuaian identitas KPPS dan TPS untuk memastikan identitas sinkron. Selain itu autentikasi juga memastikan dokumen terbaca jelas;
5. Dokumen yang telah diautentikasi disampaikan kepada saksi untuk dilakukan review dan diverifikasi melalui *public key*. Dalam hal dokumen belum sesuai dengan hasil penghitungan perolehan suara, dokumen dikembalikan kepada KPPS untuk disesuaikan kembali dalam rapat pleno terbuka. Dalam hal hasil verifikasi sesuai, maka saksi membubuhkan tanda tangan digital pada dokumen C.HASIL SALINAN sehingga menjadikan dokumen tersebut absah secara digital dan siap untuk dipublikasi serta digunakan pada tingkatan rekapitulasi.

Adapun aspek yang perlu menjadi catatan penting dalam pelaksanaan digitalisasi dokumen salinan tersebut ialah: pertama, keamanan *private key* untuk mencegah penyalahgunaan oleh pihak lain. Kedua, kesiapan teknologi guna memastikan perangkat dan aplikasi teruji secara kompatibel sebelum pelaksanaan Pemilu. Ketiga, kerja sama antar lembaga terkoordinir secara baik antara KPU, BSSN dan pihak ketiga/vendor lainnya selaku penyedia teknologi.

Upaya Pengurangan Sampah dalam mewujudkan Pemilu Hijau dan Berkelanjutan

Penerapan sertifikasi elektronik dalam dokumen pemungutan dan penghitungan suara merupakan langkah strategis untuk mewujudkan Pemilu hijau dan berkelanjutan, terutama dalam upaya pengurangan sampah. Pemilu konvensional atau manual sering kali menghasilkan sampah kertas yang tidak terkelola dalam jumlah besar (dapat dilihat pada tabel 1 diatas), dimana hampir sebagian besar bahan logistik terbuat dari kertas dan plastik. Dengan penerapan *digital signature* maka ketergantungan pada penggunaan kertas dan plastik dapat dikurangi secara bertahap. Proses ini tidak hanya meminimalkan sampah kertas yang ditimbulkan pasca Pemilu, tetapi secara langsung juga mengurangi kebutuhan logistik fisik Pemilu. Hal ini menjadi solusi ramah lingkungan yang mendukung keberlanjutan dalam penyelenggaraan Pemilu. Perbandingan kebutuhan logistik fisik sebelum dan sesudah penerapan digitalisasi melalui *digital signature* diuraikan dalam tabel berikut:

Tabel 3. Kebutuhan Logistik Sesudah Penerapan Digital Signature

No	Jenis Logistik	Dibutuhkan	Tidak	Berkurang
			Dibutuhkan/ Didigitalisasi	
1	Kotak Suara	✓		
2	Tinta	✓		
3.	Bilik Pemungutan Suara	✓		
4.	Segel		✓	
5.	Segel Plastik	✓		
6.	Surat Suara	✓		
7.	Sampul			✓

No	Jenis Logistik	Dibutuhkan	Tidak Dibutuhkan/ Didigitalisasi	Berkurang
8.	Formulir Penghitungan Suara yang meliputi C.Hasil, C.Hasil Salinan, D. Kejadian Khusus, Tanda Terima		✓	
9.	Alat bantu tuna netra	✓		
10.	Daftar Pasangan Calon		✓	
11.	Daftar Calon Tetap		✓	
12.	Tanda Pengenal	✓		
13.	Stiker Nomor Kotak Suara	✓		
14.	Salinan Daftar Pemilih		✓	
15.	Salinan Daftar Pemilih Pindahan		✓	
16.	Label Identitas Kotak Suara	✓		
17.	Kantong Plastik Selongsong		✓	
18.	Kantong Plastik Besar	✓		
19.	Kantong Plastik Sedang		✓	
20.	Kantong Plastik Kecil	✓		
21.	Kantong Plastik Ziplock		✓	
22.	Spidol		✓	
23.	Bolpoin berwarna Biru		✓	
24.	Lem Perekat		✓	

Sumber: diolah penulis, diperoleh dari perbandingan terhadap PKPU No. 14/2023 (KPU, 2023)

Berdasarkan data di atas dapat dijelaskan bahwa kebutuhan logistik fisik yang masih eksis setelah penerapan *digital signature* yaitu kotak suara, tinta, bilik suara, segel plastik, surat suara, alat bantu tunanetra, tanda pengenal, stiker nomor kotak suara, label identitas kotak suara, kantong plastik besar serta kantong plastik kecil untuk membungkus tinta. Sementara itu untuk segel dan sampul kebutuhannya berkurang dikarenakan formulir penghitungan suara seperti C.HASIL dan C.HASIL SALINAN, kejadian khusus, sudah di autentikasi melalui *digital signature*. Selain itu spidol, lem, bolpoin, kantong plastik sebagai logistik penunjang tidak lagi dibutuhkan. Sementara Daftar Pasangan Calon, Daftar Calon Tetap, Salinan Daftar Pemilih sudah dalam bentuk digital yang divisualkan pada layar elektronik di masing-masing TPS sehingga tidak lagi membutuhkan dokumen fisik.

Penerapan *digital signature* pada dokumen Pemilu mendukung penyelenggaraan Pemilu yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dengan mengurangi kebutuhan akan logistik fisik yang didominasi kertas dan plastik yang berdampak negatif pada lingkungan. Dengan *digital signature*, dokumen dapat ditandatangani dan diverifikasi secara elektronik, sehingga meminimalisir konsumsi kertas serta mempercepat proses administrasi melalui integrasi dengan aplikasi SIREKAP. Langkah ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dan keamanan Pemilu, tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan melalui pemanfaatan teknologi digital untuk mengurangi dampak ekologis yang ditimbulkan dalam penyelenggaraan Pemilu.

KESIMPULAN

Permasalahan logistik dan sampah pada Pemilu di Indonesia memerlukan solusi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Logistik Pemilu yang sebagian besar didominasi bahan kertas dan plastik, berakhir sebagai "sampah Pemilu" karena pemanfaatan dan pengelolaannya yang terbatas pasca Pemilu berakhir. Kertas dan plastik yang merupakan penyumbang sampah terbesar keempat dan kedua secara nasional pada tahun 2024, dapat menimbulkan dampak berbahaya seperti deforestasi dan pencemaran lingkungan. Untuk mengatasi masalah ini, artikel ini menawarkan kajian penerapan sertifikasi elektronik dan *digital signature* pada dokumen penghitungan dan rekapitulasi suara tingkat adhoc, sehingga dapat mengefisiensikan penggunaan logistik berbahan kertas dan plastik sekaligus mempertahankan keabsahan dokumen tersebut. Kesimpulan dari penelitian ini adalah perlunya penerapan digitalisasi dokumen Pemilu dengan sistem autentikasi berbasis sertifikasi elektronik guna mewujudkan penyelenggaraan Pemilu yang efisien, transparan, ramah lingkungan dan berkelanjutan. Selain mengurangi sampah, sistem ini juga menjadi solusi atas kompleksitas proses pemungutan dan penghitungan

suara yang berakibat pada beban kerja berat yang dialami petugas pada Pemilu 2024 serta mendukung keberlanjutan lingkungan melalui pemanfaatan teknologi digital untuk mengurangi dampak ekologis yang ditimbulkan dalam penyelenggaraan Pemilu. Untuk mewujudkan penerapan sertifikasi elektronik pada dokumen Pemilu tentunya diperlukan regulasi khusus sebagai landasan yuridis, mendorong *pilot project* di daerah perkotaan sebelum penerapan secara nasional sampai menjangkau ke daerah 3T (terjauh, terluar, tertinggal) serta melakukan kolaborasi dengan Balai Sertifikasi Elektronik (BSrE) yang merupakan Unit Pelaksana Teknis (UPT) di Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN) sebagai penyedia layanan dan CA (*Certification Authority*).

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang memerlukan perhatian lebih lanjut dimasa yang akan datang. Ruang lingkup studi ini menekankan kajian yang berfokus pada keterkaitan antara penerapan *digital signature* dengan dampak yang dihasilkan terhadap pengurangan kebutuhan logistik fisik yang didominasi kertas dan plastik dalam upaya mengurangi sampah Pemilu. Penelitian ini mengharapkan adanya penelitian di masa mendatang yang menguraikan penerapan digital signature dengan *produk teknologi digital* yang lebih komprehensif dan sistematis.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, E.R. dan Agus Kurniati. (2009). Pemanfaatan Kriptografi dalam Mewujudkan Keamanan Informasi pada e-Voting di Indonesia. Seminar Nasional Informatika UPN Veteran Yogyakarta, 22-28.
- Ahlback, J & Jablonski, R. (2025). How to distinguish human error from election fraud: Evidence from the 2019 Malawi election. Forthcoming, British Journal of Political Science, 1-44. Doi: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5246542>
- Amin, I. (2024). Pemerintah Klaim Penyelenggaraan Pemilu dan Pilkada 2024 Sukses. Diakses pada 7 Agustus 2025 dari tirto.id: <https://tirto.id/pemerintah-klaim-penyelenggaraan-pemilu-pilkada-2024-sukses-g61F>
- Amalia, R & Setyaningrum, A & Satispi, E (2023). Analisis Penerapan Tanda Tangan Elektronik Pada Tata Naskah Dinas Elektronik (Attandie) Di Direktorat Jenderal Kependudukan Dan Pencatatan Sipil. Jurnal Akuntan Publik, 1 (1), 23-37. doi: <https://doi.org/10.59581/jap-widyakarya.v1i1.206>
- Asfia, H. (2024). Peran Dalam Mendobrak Batasan Tradisional Sebagai Upaya Menyongsong Pemilu Modern. Prosiding Seminar Hukum Aktual Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia, 2(5), 218-229
- Asplund, E. et.al. (2024). Reducing the environmental impact of elections: Lessons from the Asia-Pacific. Diakses pada 11 Agustus 2025 dari idea.int: <https://www.idea.int/news/reducing-environmental-impact-elections-lessons-asia-pacific>

- Azizah, K. (2024). Curhat Petugas KPPS Pemilu 2024, Kelelahan Hitung Suara Hingga Pukul 3 Pagi. Diakses pada tanggal 30 September 2025 dari: <https://health.detik.com/berita-detikhealth/d-7194472/curhat-petugas-kpps-pemilu-2024-kelelahan-hitung-suara-hingga-pukul-3-pagi>
- Cavus, N & Sancar, N. (2023). The Importance of Digital Signature in Sustainable Businesses: A Scale Development Study. *Sustainability*. 15(6), 2-15. <https://doi.org/10.3390/su15065008>
- Badan Pengawas Pemilihan Umum Republik Indonesia. (2024). Bawaslu Temukan 19 Masalah dalam Pemungutan dan Penghitungan Suara di Pemilu 2024. Diakses tanggal 17 Agustus 2025 dari <https://www.bawaslu.go.id/id/berita/bawaslu-temukan-19-masalah-dalam-pemungutan-dan-penghitungan-suara-di-pemilu-2024>.
- Brennen, J. S., & Kreiss, D. (2016). Digitalization. The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy, 1-11. doi: 10.1002/9781118766804.wbict111
- Creswel, J. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. California: Sage Publications.
- Dewanti, S.C (2019). Wacana Penggunaan E-Voting pada Pemilu. Puslit DKD info singkat. 11(10). 25-30.
- Fajriadi, A. 2024. Program Pohon Pengganti 65 Ribu Ton Kertas Pemilu 2024, Greenpeace: Tidak Ada Dampaknya. Diakses pada tanggal 11 Oktober 2025 dari <https://www.tempo.co/lingkungan/program-pohon-pengganti-65-ribu-ton-kertas-pemilu-2024-greenpeace-tidak-ada-dampaknya-86553>
- Fatmawati, W. et.al. (2023). Pengukuran Tingkat Efisiensi Aktivitas Proses Produksi Menggunakan Metode Data Envelopment Analysis (DEA). *Jurnal Logistica*, 1(2), 30-35
- Febriansyah, R dan Husnayanti, A. (2019). Analisis Beban Kerja Kelompok Penyelenggara Pemungutan Suara (KPPS) Menggunakan Metode FTE (Full Time Equivalent) pada Pemilihan Umum Serentak Tahun 2019 di Kabupaten Bangka Tengah. *Electoral Governance Jurnal Tata Kelola Pemilu Indonesia*. 1(1), 42-60.
- Ford, H.V., et.al. (2021). The Fundamental Links Between Climate Change And Marine Plastic Pollution. *Science of the Total Environment*. 806 (1). 1-11. doi: org/10.1016/j.scitotenv.2021.150392
- Given, L. M. et.al. (2025). A rubbish election: voting in Australia produces mountains of waste - but there's a better way. Diakses pada 6 Agustus 2025 dari theconversation.com: <https://theconversation.com/a-rubbish-election-voting-in-australia-produces-mountains-of-waste-but-theres-a-better-way-255780>
- Hamda, A. (2024). Ini Faktor Terlambatnya Logistik TPS Kembali ke PPK. Diakses pada tanggal 30 September 2025 dari: <https://rri.co.id/pemilu/558644/ini-faktor-terlambatnya-logistik-tps-kembali-ke-ppk>
- Haryati, H. et.al. (2014). Sistem pemungutan suara elektronik menggunakan model Poll SITE E-Voting. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*, 4(1). doi: 10.21456/vol4iss1pp67-74

- Hidayah, A. (2022). Melihat Kemungkinan Penggunaan E-Voting di Pemilu Tahun 2024. Diakses pada 14 Agustus 2025 dari theindonesianinstitute.com:
<https://www.theindonesianinstitute.com/melihat-kemungkinan-penggunaan-e-voting-di-pemilu-tahun-2024/>
- Institute for Democracy and Electoral Assistance. (2011). Memperkenalkan Pemilihan Elektronik: Pertimbangan Esensial. Stockholm: international IDEA
- Izzah, A & Sugandha, W (2021). Penggunaan Tanda Tangan Elektronik Dalam Penyelenggaraan E-Government Guna Mewujudkan Pelayanan Publik Yang Efisien. *Jurnal of Law, Society, and Islamic Civilization*, 9(1), 1-9. doi: 10.20961/jolsic.v9i1.52836
- Jalaluddin & Kurniawan, I. (2020). Evaluasi Pemungutan, Penghitungan dan Rekapitulasi Suara Pemilu Tahun 2019. Diakses 30 September 2025 dari: <https://journal.kpu.go.id/index.php/ERE/article/view/131>
- Janowski, T. (2015). Digital government evolution: From transformation to contextualization. *Government Information Quarterly*, 32(3), 221–236. doi: 10.1016/j.giq.2015.07.001
- Kementerian Keuangan. (2024). Penerapan Tanda Tangan Elektronik pada SPM. Diakses pada tanggal 30 September 2025 dari: <https://djpbc.kemenkeu.go.id/kppn/gunungsitoli/id/data-publikasi/artikel/2953-penerapan-tanda-tangan-elektronik-pada-spm.html>
- Komisi Pemilihan Umum Republik Indonesia. (2023). Rilis Kpu Perkembangan Pemenuhan Logistik Pemilu Tahun 2024. Diakses pada 7 Agustus 2025 dari kpu.go.id: <https://www.kpu.go.id/berita/baca/12117/rilis-kpu-perkembangan-pemenuhan-logistik-pemilu-tahun-2024>
- Kompas. (2025). Menkomdigi Sebut Pembangunan Infrastruktur Digital Sangat Minim, Banyak Desa Belum Dapat Sinyal. Diakses pada tanggal 13 Agustus 2025 dari Kompas.com: <https://nasional.kompas.com/read/2025/07/07/15463421/menkomdigi-sebut-pembangunan-infrastruktur-digital-sangat-minim-banyak-desa>
- Kusuma, N. F. K. (2024). Pengaturan Dan Tantangan Penggunaan E-Voting Pada Penyelenggaraan Pemilihan Kepala Daerah Di Indonesia. *Media Bina Ilmiah*, 18(6), 1311–1320. doi: 10.33758/mbi.v18i6.674
- Li, W & Xu, J & Zheng, M (2018). Green Governance: New Perspective from Open Innovation. *Sustainability*, 10(11), 1–19. doi:10.3390/su10113845
- Parker, L. (2025). The world's plastic pollution crisis, explained. Diakses pada 13 Agustus 2025 dari nationalgeographic.com: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/plastic-pollution>
- Prabowo, E. C., & Afrianto, I. (2017). Penerapan Digital Signature dan Kriptografi pada Otentikasi Sertifikat Tanah Digital. *Komputa Jurnal Ilmiah Komputer Dan Informatika*, 6(2), 83–90. doi: 10.34010/komputa.v6i2.2481

- Pratama, E & Sa'adah, N (2023). Penggunaan Tanda Tangan Elektronik Pada Sertifikat Hak Tanggungan Elektronik. Notarius, 16(3), 1234-1250. Doi: <https://doi.org/10.14710/nts.v16i3.41661>
- Ritter, T & Pedersen, C.L. (2020). Digitization capability and the digitalization of business models in business-to-business firms: Past, present, and future. Industrial Marketing Management. 86, 180-189 <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2019.11.019>
- Riyanto, G dan Pertiwi, W. (2025). Jumlah Pengguna Internet di Indonesia Tahun 2025 Tembus 229,4 Juta. Diakses pada tanggal 11 Oktober 2025 dari Kompas.com <https://tekno.kompas.com/read/2025/08/08/16110007/jumlah-pengguna-internet-di-indonesia-tahun-2025-tembus-2294-juta?page=all>
- Sari, A.R. (2021). Berapa Lama Sampah Plastik Dapat Terurai? Diakses pada 9 Agustus 2025 dari tempo.co: <https://www.tempo.co/lingkungan/berapa-lama-sampah-plastik-dapat-terurai--446030>
- Saptowalyono, C.A (2024). Kendala Teknis dan Beban Kerja Akibatkan Petugas Pemilu "Ad hoc" Sakit atau Meninggal. Diakses 13 Agustus 2025, Dari : <https://www.kompas.id/artikel/kendala-teknis-dan-beban-kerja-berpotensi-picu-petugas-pemilu-ad-hoc-sakit-atau-meninggal>
- Septianingsih, I. dan Itok Dwi Kurniawan. (2024). Urgensi Pembentukan Undang-Undang yang Mewadahi Lembaga Independen sebagai Perwujudan Green Election dalam Green Constitution. Universitas Islam Indonesia. Prosiding Seminar Hukum Nasional Pelaksanaan Pemilu 2024: Evaluasi dan Gagasan ke Depan. Sleman, DIY.
- Sica, S.P (2021). Apa Dampak Buruk Kertas Bagi Lingkungan?. Diakses 5 Agustus 2025, Dari: <https://internasional.kompas.com/read/2021/11/04/044646770/apa-dampak-buruk-kertas-bagi-lingkungan?page=all>
- Subramanya, S.R & Yi, B.K. (2006). Digital signatures. IEEE Potentials. 25(4), 5-9 doi: 10.1109/MP.2006.1649003 · Source: IEEE Xplore
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. (2024). Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah adalah Capaian Pengurangan dan Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. Diakses pada 5 Agustus 2025 dari kemenlh.go.id: <https://sipsn.kemenlh.go.id/sipsn/>
- Skog, D.A., et.al (2018). Digital Disruption. Bus Inf Syst Eng 60, 431-437. <https://doi.org/10.1007/s12599-018-0550-4>
- Supardi, A. (2023). Sampah Plastik dan Perubahan Iklim, Seperti Apa? Diakses pada 5 Agustus 2025 dari mongabay.co.id: <https://mongabay.co.id/2023/06/02/sampah-plastik-dan-perubahan-iklim-seperti-apa/>
- TEMPO. (2024). 108 Petugas Pemilu 2024 Meninggal, Kemenkes Ungkap Daftar Lengkap Penyebabnya. Diakses pada 17 Agustus 2025 dari tempo.co: <https://www.tempo.co/politik/108-petugas-pemilu-2024-meninggal-kemenkes-ungkap-daftar-lengkap-penyebabnya-83935>

- Thalib, A.S (2024). Analisis Sistematik Praktik Pemilu Hijau di Indonesia untuk Pilkada Serentak Tahun 2024 Electoral Governance Jurnal Tata Kelola Pemilu Indonesia, 5(2), 138-155, doi:10.46874/tkp.v5i2.1212
- Umagapi, J.L. (2023). KEBOCORAN DATA PEMILIH PEMILU 2024. Info Singkat: Kajian Singat Terhadap Isu Singkat dan Strategis, 15(23), 1-5
- Wijaya, J. H., Zulfikar, A., & Permatasari, I. A. (2019). Implementasi Sistem E-Voting Untuk Meningkatkan Kualitas Demokrasi di Indonesia. Jurnal Pemerintahan Dan Kebijakan (JPK), 1(1), 51-59. Doi: 10.18196/jpk.v1i1.7841
- Word Bank. 2002. The E-Government Handbook For Developing Countries. Washington, DC:Center For Democracy & Technology.
- Yahfatzka, I. (2025). Internet Satelit untuk Dukung Pengembangan Koperasi Merah Putih di Desa. Diakses pada tanggal 11 Oktober 2025 dari <https://inet.detik.com/telecommunication/d-8097748/internet-satelit-untuk-dukung-pengembangan-koperasi-merah-putih-di-desa>