

Aplikasi Tandatangan Digital dalam Proses Verifikasi dan Validasi Sertifikat Covid-19

Application of Digital Signature in the Verification and Validation Process of Covid-19 Certificates

Yulia Fatma¹, Evans Fuad², Soni³, Agusriadi⁴

^{1,2,3}Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Riau

E-mail: ¹yuliafatma@umri.ac.id, ²evansfuad@umri.ac.id, ³soni@umri.ac.id

Abstrak

Pandemi Covid-19 menyebabkan syarat berpergian ke luar kota, provinsi bahkan luar negeri harus memiliki surat bebas Covid-19. Untuk mencegah tindak pemalsuan, keaslian dan legalitas dari surat bebas Covid-19, *digital signature* merupakan salah satu teknik dari kriptografi yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut. *Digital signature* merupakan cara otentikasi yang memungkinkan pengirim pesan mencantumkan sebuah kode yang bertindak sebagai tanda tangannya. Penggunaan *digital signature* dapat memastikan sebuah dokumen elektronik masih utuh dan asli sehingga dapat dipertanggung jawabkan secara hukum. *Digital signature* dapat mencegah tindak pemalsuan surat bebas Covid-19. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan verifikasi dan validasi surat keterangan bebas Covid-19 dengan memanfaatkan *digital signature* dan teknologi *QR Code* berhasil dilakukan. SHA-1 digunakan untuk menghasilkan *message digest* terhadap surat keterangan hasil bebas covid-19. Algoritma RSA digunakan untuk enkripsi dan dekripsi pada *message digest*. *Digital Signature* berhasil diimplementasikan dalam bentuk *QR Code* yang berisikan identitas pasien, hasil tes, identitas dokter dan penerbit surat. Proses verifikasi dan validasi berhasil dilakukan. Verifikasi dan validasi terhadap *digital signature* menunjukkan hasil yang VALID yaitu *message digest* hasil dekripsi memiliki nilai yang sama dengan *message digest* asli.

Kata kunci: *digital signature*, RSA, SHA, covid-19, verifikasi, validasi

Abstract

The Covid-19 pandemic has caused conditions for traveling outside the city, province and even abroad to have a Covid-19 free letter. To prevent counterfeiting, authenticity and legality of Covid-19-free letters, digital signatures are one of the techniques of cryptography that can be used to overcome these problems. A digital signature is an authentication method that allows the sender of a message to include a code that acts as his signature. The use of digital signatures can ensure an electronic document is still intact and original so that it can be legally accounted for. Digital signatures can prevent counterfeiting of Covid-19 free letters. Based on the results of the study, the verification and validation of Covid-19 free certificates using digital signatures and QR Code technology were successfully carried out. SHA-1 is used to generate message digests for COVID-19 free results certificates. The RSA algorithm is used for encryption and decryption of the message digest. The Digital Signature was successfully implemented in the form of a QR Code containing the patient's identity, test results, doctor's identity and letter issuer. The verification and validation process was successfully carried out. Verification and validation of digital signatures show VALID results, namely the decrypted message digest has the same value as the original message digest.

Keywords: *digital signature*, RSA, SHA, covid-19, verification, validation

1. PENDAHULUAN

Tingkat penularan Covid-19 di Indonesia terbilang tinggi ditandai dengan *positivity rate*, kasus aktif, dan penambahan kasus positif di tingkat nasional. Dalam rangka mencegah dan memutus rantai penyebaran Covid-19 maka usaha yang dilakukan pemerintah adalah memperpanjang masa berlaku Surat Edaran Satuan Tugas Penanganan Covid-19 Nomor 7 Tahun 2021 tentang peraturan perjalanan dalam negeri dimasa pandemi. Pelaku perjalanan antar daerah/provinsi dan antar pulau yang menggunakan alat transportasi udara, darat, laut, baik kendaraan sendiri maupun umum harus menunjukkan surat hasil negatif tes RT-PCR/*rapid test antigen* sesuai dengan masa berlaku.

Pentingnya peran surat keterangan bebas Covid-19 sesuai dengan peraturan pemerintah sebagai syarat bepergian warga marak dipalsukan dan diperjual-belikan oleh pihak yang tidak bertanggung jawab. Mahalnya harga tes RT-PCR atau hasil negatif *rapid test antigen* membuat masyarakat mudah tergiur dengan oknum yang menyediakan jasa tes dengan harga yang lebih murah. Proses procedural yang harus dilalui untuk mendapatkan surat keterangan bebas Covid-19 juga membuat masyarakat memilih jalan pintas dengan memesannya melalui calo. Kasus pemalsuan surat keterangan bebas Covid-19 terjadi di Puskesmas Pungging Mojokerto yang melibatkan pegawai dibagian loket dengan cara memalsukan tanda tangan dokter dan petugas pemeriksa [1]. Salah satu pegawai Puskesmas di Surabaya menerbitkan surat keterangan bebas Covid-19 tanpa melakukan tes. Di Sulawesi Tengah ditemukan surat keterangan bebas Covid-19 yang dipalsukan dengan cara menscan dan mengedit selembar surat keterangan *rapid test* asli yang diterbitkan sebuah laboratorium kesehatan. Hasil editan dicetak sebanyak delapan lembar dengan nama yang berbeda [2]. Kasus lain oknum memalsukan kop surat sebuah lab kesehatan di Jebrana Bali dan membuat stempel basah [3]. Tidak kalah maraknya yaitu terjadi penjualan surat keterangan bebas Covid-19 beredar luas di media sosial *facebook* dan Tokopedia yang mengatasnamakan RS Mitra Keluarga Tangerang. [2], [4]. Hingga saat ini tercatat sebanyak 1.252 lembar surat keterangan bebas Covid-19 yang sudah dipalsukan oleh calo tiket bandara Sultan Syarif Kasim II Pekanbaru Riau [5].

Beberapa kelemahan yang terjadi menyebabkan timbulnya celah pemalsuan dan penyalahgunaan terhadap legalitas penerbitan surat keterangan bebas Covid-19. Verifikasi terhadap identitas dan masa berlaku surat dilakukan secara manual sehingga riskan terjadi kesalahan oleh petugas perjalanan. Beberapa instansi sudah menerapkan teknologi *QR Code* pada surat keterangan bebas Covid-19, namun saat penulis melakukan pemindaian terhadap beberapa sampel *QR Code* tidak menampilkan data lengkap identitas pasien dan masa berlaku surat. Bahkan terdapat sistem instansi yang masih mengalami error saat dilakukan pemindaian pada *QR Code*.

Penelitian ini bertujuan mengusulkan sistem verifikasi dan validasi surat keterangan bebas Covid-19 dengan memanfaatkan *digital signature* dan teknologi *QR Code* yang mana skema ini cocok diterapkan untuk kasus yang berkaitan dengan pihak luar instansi [6]. Proses verifikasi dengan pemindaian *QR Code* akan menampilkan data pasien dan keterangan masa berlaku surat secara otomatis. Surat yang masa berlakunya habis akan menampilkan pesan berupa *warning* pada petugas. Sedangkan proses validasi memanfaatkan *digital signature* untuk memastikan keaslian terhadap isi surat apabila dicurigai telah terjadinya penyuntingan secara digital. *Digital Signature* juga dapat membuktikan keabsahan dari pihak instansi penerbit surat. Diharapkan sistem ini dapat mencegah tindak pemalsuan dan penyalahgunaan surat keterangan bebas Covid-19. Serta surat keterangan surat bebas Covid-19 secara *digital* akan mengurangi biaya penggunaan kertas, mempersingkat waktu dan mendukung budaya *paperless* pada program 'go green' pemerintah [7], [8].

Digital Signature menggabungkan fungsi *hash* untuk menghasilkan *message digest* dari dokumen (teks), dan algoritma kriptografi kunci publik yang digunakan untuk mengenkripsi *message digest* tersebut [9]. Pada penelitian ini algoritma hash yang digunakan adalah SHA yaitu merupakan algoritma hash yang baik jika dibandingkan dengan MD5 dan RC4. SHA memiliki panjang karakter yang lebih banyak, tahan terhadap serangan *collision attack* dan cocok diimplementasikan pada sistem berbasis web [10]. Sedangkan algoritma kunci publik yang

digunakan untuk mengenkripsi *message digest* adalah RSA (*Rivest-Shamir-Adleman*). RSA disebut sebagai algoritma pertama yang paling pas untuk *digital signature*. Kekuatan algoritma RSA adalah sulitnya melakukan faktorisasi bilangan yang besar menjadi faktor-faktor prima. Proses pemfaktoran dilakukan untuk mendapatkan kunci privat. Selama proses pemfaktoran tersebut belum berhasil dilakukan, maka selama itu pula keamanan dari algoritma RSA tetap terjaga [11]. Penerapan digital signature menggunakan algoritma kriptografi RSA dapat menjamin keamanan dokumen yang ditandatangani dalam aspek *integrity*, *authentication*, dan *non-repudiation* [12].

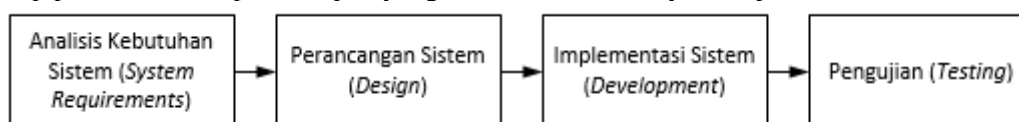
Digital signature menjadi salah satu solusi untuk menjaga keamanan dokumen penting yang bersifat digital. Penerapan *digital signature* pada dokumen digital dapat menjaga keutuhan data, otentikasi dan dapat mendeteksi manipulasi yang terjadi pada dokumen [13], [14]. Pengujian integritas file operasi *digital signature* menggunakan kombinasi hash MD5, RSA dan skema *QR Code* dapat terjamin selama tidak dilakukan perubahan pada isi pesan [15].

Digital Signature menggabungkan fungsi *hash* untuk menghasilkan *message digest* dari sebuah dokumen (teks) dan algoritma kriptografi kunci publik yang digunakan untuk melakukan enkripsi *message digest* [9]. Beberapa penelitian dilakukan untuk membandingkan fungsi *hash* diantaranya MD4, MD5, SHA, SHA-1, SHA256, Keccak [9], [10], [16]. Algoritma kriptografi kunci publik RSA adalah algoritma pertama yang diketahui paling cocok untuk *digital signature*. Beberapa penelitian menerapkan algoritma RSA untuk mengamankan kasus surat tanah digital, ijazah, transkrip nilai, *form C1 Plano-KWK e-sertifikat* dan lainnya.

Hingga saat ini penelitian yang penulis ajukan terkait penggunaan *digital signature* untuk proses verifikasi dan validasi dengan tujuan mencegah tindak pemalsuan surat keterangan bebas Covid-19 berdasarkan hasil pencarian belum pernah dilakukan. Penelitian ini memiliki nilai kebaharuan dan perbedaan terhadap kasus serta pemanfaatan *digital signature* yang menggunakan teknologi *QR Code*. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi guna mendukung kebijakan pemerintah dalam meminimalisir penyebaran Covid-19 [6].

2. METODE PENELITIAN

Pada tahap awal penelitian penulis melakukan survey lapangan dan mewawancarai beberapa pasien yang pernah melakukan tes Swab Antigen dan PCR Covid-19. Penulis mengumpulkan beberapa sampel dari hasil Surat Keterangan bebas Covid-19. Berdasarkan hasil survey penulis menentukan topik, merumuskan permasalahan, menentukan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Adapun tahapan yang dilakukan berikutnya meliputi:



Gambar 1 Metode Penelitian

2.1 Analisis Kebutuhan Sistem (System Requirements)

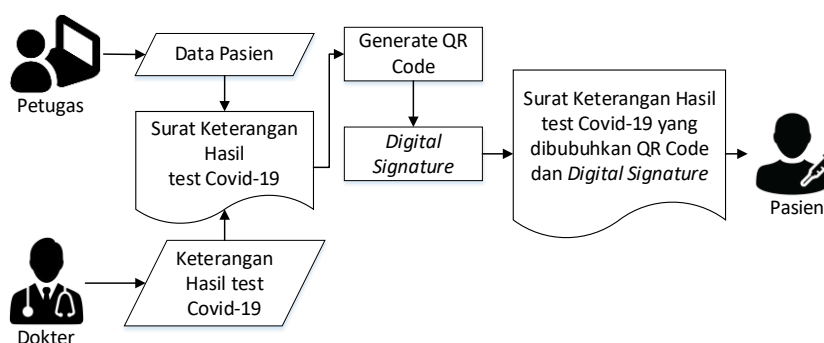
Pada tahap ini dilakukan analisis kebutuhan terhadap perangkat keras, perangkat lunak, kebutuhan terhadap data dan fitur sistem yang akan dibangun yang dipaparkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kebutuhan Sistem

No	Kebutuhan Sistem	Keterangan
1	Perangkat Keras	<ul style="list-style-type: none"> - Laptop : Processor Intel Core i5 CPU @ 2.60GHz; RAM 4,00 GB - Mouse Wireless - Barcode Scanner QR Code
2	Perangkat Lunak	<ul style="list-style-type: none"> - Sistem Operasi Windows 10 - Text Editor PHP (Sublime Text 4) - Web Server (XAMPP 7.3.28) - Web Browser (Google Chrome) - Pengolah kata, angka dll (Ms. Office 2016) - Pembuat Diagram (Ms. Visio 2016)
3	Data	<ul style="list-style-type: none"> - Surat Keterangan bebas Covid-19 asli - Surat Keterangan bebas Covid-19 palsu
4	Fitur Sistem	<ul style="list-style-type: none"> - Jumlah user / pengguna sistem - Hak akses user - Proses verifikasi identitas dan masa berlaku surat - Proses validasi terhadap keaslian isi surat dan keabsahan pihak instansi penerbit surat

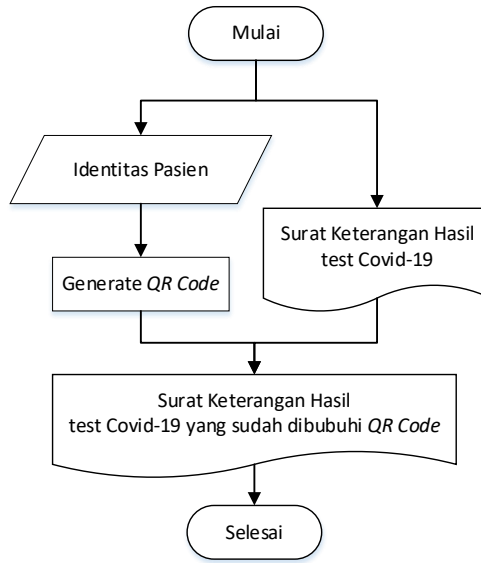
2.2 Perancangan Sistem

Pada tahap perancangan sistem akan dibuat gambaran arsitektur umum sistem secara keseluruhan, *flowchart* sistem, perancangan database dan antarmuka sistem (*interface*).



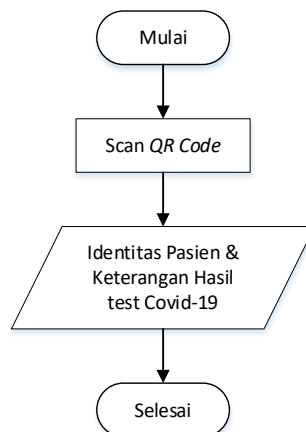
Gambar 2 Rancangan Umum Sistem

Gambar 2 menjelaskan tentang alur sistem secara keseluruhan. Pengguna sistem terdiri dari petugas rumah sakit dan dokter. Petugas rumah sakit berfungsi untuk memasukkan data identitas pasien. Setelah dokter melakukan pemeriksaan terhadap pasien, dokter memasukkan data hasil tes Covid-19 pada sistem. Kemudian sistem akan membangkitkan QR Code. Dokter memasukkan sebuah kunci rahasia untuk membubuhkan *digital signature* pada dokumen hasil tes Covid-19.



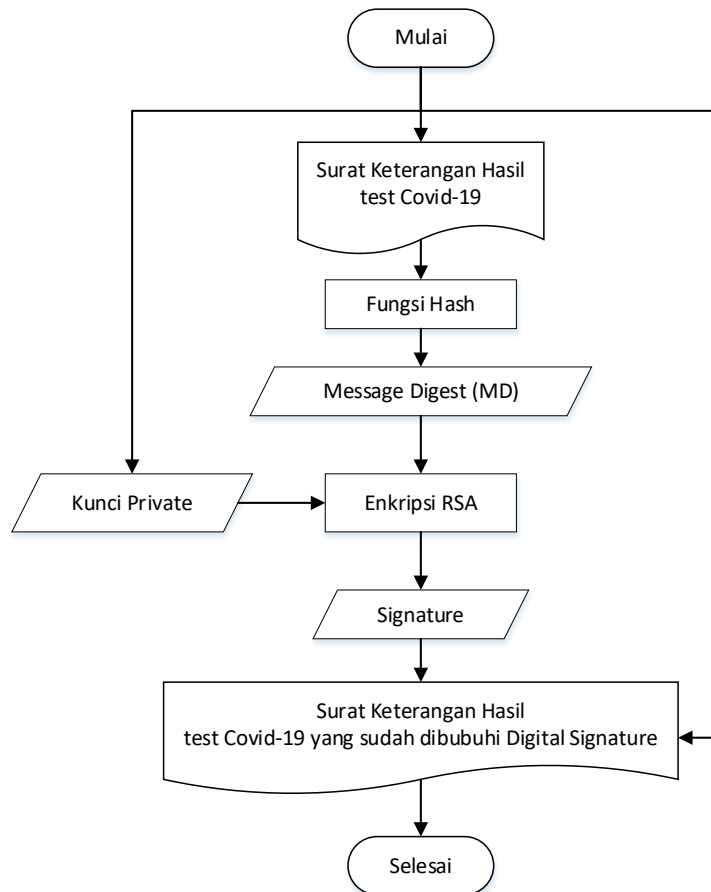
Gambar 3 Flowchart Proses Pembubuhan QR Code

Gambar 3 menjelaskan tentang proses pembangkitan QR Code. Petugas memasukkan identitas pasien beserta surat keterangan hasil test Covid-19. Kemudian QR Code akan dibangkitkan dan dibubuhkan pada surat.



Gambar 4 Flowchart Proses Verifikasi QR Code

Gambar 4 adalah proses verifikasi surat keterangan hasil test covid-19. Proses verifikasi bertujuan untuk memastikan bahwa identitas pada surat keterangan hasil test covid-19 yang dilampirkan oleh pasien benar adanya dikeluarkan oleh suatu instansi rumah sakit/klinik/laboratorium kesehatan. Proses verifikasi bisa dilakukan oleh petugas pemeriksa keberangkatan (darat/laut/udara), pasien maupun masyarakat luas. Proses verifikasi dilakukan dengan menggunakan scan pada QR Code dan akan dialihkan ke website yang menampilkan identitas lengkap pasien.



Gambar 5 Flowchart Proses *Digital Signature*

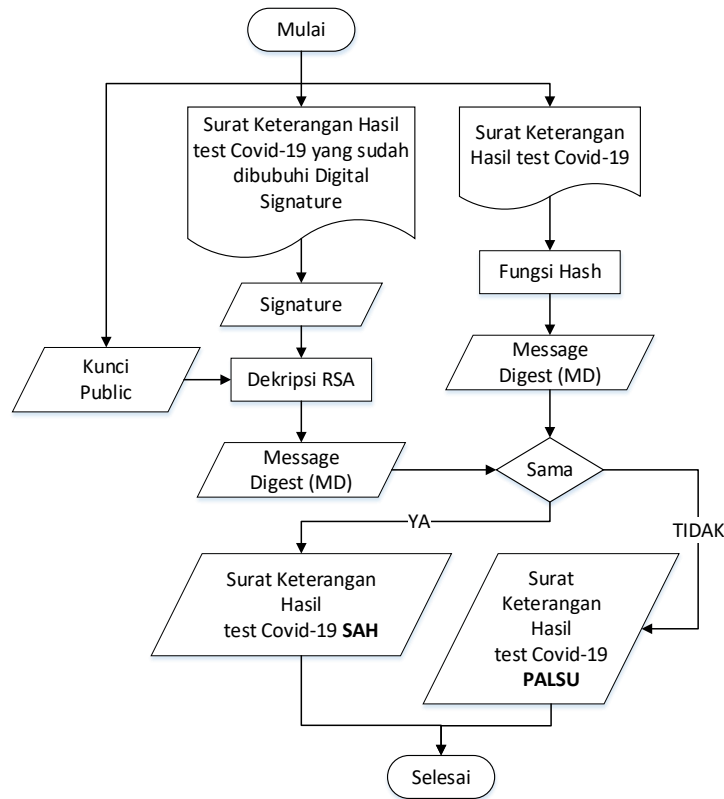
Gambar 5 merupakan proses *digital signature*. *Digital signature* dilakukan dengan cara memasukkan surat keterangan hasil test covid-19. Fungsi hash diterapkan pada surat keterangan tersebut sehingga menghasilkan keluaran berupa *message digest* (MD). Dokter memasukkan kunci privat atau kunci rahasia yang akan digunakan untuk mengenkripsi MD dengan algoritma RSA. Hasil keluaran atau cipherteks merupakan *signature* yang dibubuhkan kedalam surat sebagai *digital signature*. Proses enkripsi RSA dilakukan menggunakan persamaan (1).

$$E_e(m) = c \equiv m^e \text{ mod } n \quad (1)$$

Keterangan:

- E = enkripsi
- e = kunci enkripsi
- m = plainteks
- c = cipherteks
- n = p.q (bilangan prima)

Gambar 6 merupakan proses validasi terhadap surat keterangan hasil test covid-19. Proses validasi dilakukan untuk melakukan pengecekan keabsahan jika terjadi kekeliruan pada proses verifikasi. Jadi proses validasi merupakan proses untuk memastikan kebenaran suatu surat keterangan hasil test Covid-19.



Gambar 6 Flowchart Proses Validasi *Digital Signature*

Validasi dilakukan dengan cara mendekripsikan MD menggunakan RSA berdasarkan persamaan (2).

$$D_d(c) = m \equiv c^d \text{ mod } n \quad (2)$$

Keterangan:

D = dekripsi

d = kunci dekripsi

2.3 Implementasi Sistem (Development)

Pada tahap ini yang dilakukan adalah menerjemahkan hasil perancangan sistem menggunakan bahasa pemrograman PHP dan database MySQL.

2.4 Pengujian (Testing)

Sistem yang selesai dibangun akan akan diuji sebelum siap untuk digunakan. Pengujian yang akan dilakukan adalah proses pembentukan *message digest*, *digital signature* RSA, verifikasi QR code dan validasi *digital signature*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Sistem (Development)

1) Halaman Depan



Gambar 7 (a) Tampilan Halaman Depan (b) Halaman Login

Gambar 7 (a) merupakan tampilan dari halaman depan sistem. Pada halaman ini terdapat menu untuk pendaftaran pasien, masuk atau login, dan menu validasi yang berguna untuk mengecek *digital signature* yang terdapat pada surat keterangan bebas covid-19. Gambar 6 (b) merupakan tampilan halaman login. Admin dan dokter melakukan login dan diarahkan pada halaman beranda yang memiliki fitur sesuai dengan akses masing-masing.

2) Laporan Hasil Surat Keterangan bebas Covid-19

KLINIK AJWA MEDIKA
 Jalan Bukit barisan
 Kel. Tangkerang Timur
 Kec. Tangkerang Raya
 Telp. 0821-8852-2770
 E-mail: klinikajwamedika@yahoo.com

No. Reservasi : YHY7	Dokter : dr. Yulia	
No. MR : 145165	Petugas : Perawat Rtri	
Nama Pasien : Tn/Ny. Sastro W	Tanggal Sampling : 30-08-2021	
Tanggal Lahir : PCR COV 19 Positif	Pukul : 09:55	
No. KTP : 31		
Alamat : Jakarta Pusat		

HASIL PEMERIKSAAN

ITEM PEMERIKSAAN	NILAI HASIL	NILAI NORMAL
PCR COV 19		
Hasil	Positif	Negatif
Kesimpulan	Positif	

Terima Kasih, Salam Sejahtera
Pekanbaru 30-08-2021

Verifikasi & Validasi

PCR COV 19

4932b0a6e5b728ed19eac0fbc1c84edaa19e27

dr. Yulia

NIP. 1234567890

Saran:

- * Pemeriksaan Konfirmasi dengan RT-PCR
- * Lakukan Karantina atau Isolasi sesuai dengan Kriteria
- * Menempatkan PIBBS (Prilaku Hidup Bersih dan Sehat : Mencuci Tangan, Memerapkan etika batuk, menggunakan masker saat sakit, menjaga stamina) dan Physical Distancing

Gambar 8 Surat Keterangan Bebas Covid-19

Gambar 8 merupakan output yang di hasilkan yaitu berupa surat keterangan hasil pemeriksaan dari dokter yang sudah di tanda tangan digital dan QR Code. Terdapat qr code dan nilai yang akan digunakan pada proses verifikasi dan validasi.

3.2 Pengujian (Testing)

1) Pengujian Message Digest SHA-1

Tabel 2 Message Digest Data Pasien

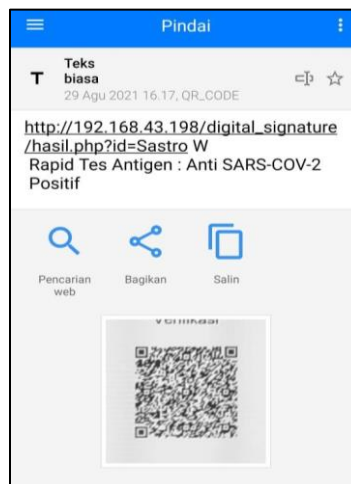
Identitas Pasien, Hasil & Identisa Penerbit Surat Hasil Test Covid-19	MD Hasil SHA-1	Keterangan
NoRm, nama pasien, no pendaftaran, nama klinik, nama dokter	881a29506bad06d347d82 f6b89a0463bca01aa3c	[√] Sukses [] Gagal

2) Pengujian Digital Signature RSA

Tabel 3 Penerapan RSA pada hasil MD

Data Yang Diuji	Hasil Enkripsi	Keterangan
881a29506bad06d347d82 f6b89a0463bca01aa3c	9.13,4.2,5.12,9.9,1.0.8,1.0.0,4.2,5.8,9.13,1.0.0,5.5,4.9,1.0.8,1.0.1,5.8,5.6,5.0,5.1,9.2,5.5,5.4,5.0,5.13,5.5,5.5,9.13,9.9,4.9,5.5,5.5,1.0.8,5.6,5.4,9.2,5.8,5.0,5.5,5.5,9.9,1.0.8	[√] Sukses [] Gagal

3) Pengujian Verifikasi QR Code

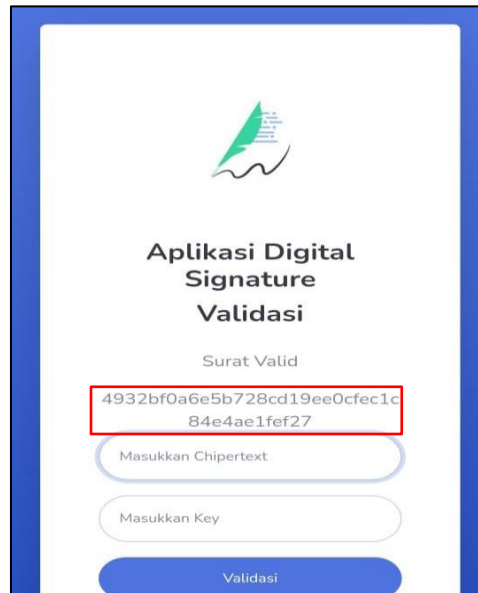


Gambar 9 Verifikasi QR Code

Gambar 9 merupakan proses verifikasi dilakukan dengan cara scan barcode dengan aplikasi QR & Barcode Scanner di pada android, lalu hasil qr code akan menampilkan nama pasien, item pemeriksaan, hasil pemeriksaan dan juga link untuk proses validasi. Petugas atau verifier bisa melihat dan membandingkan data pasien pada surat dengan hasil Scan yang ada pada android petugas tersebut.

4) Pengujian Validasi *Digital Signature*

Pada proses validasi ini verifier atau petugas melakukan entry link hasil Scan barcode, lalu verifier memasukkan cipherteks atau hasil enkripsi RSA lalu didekripsikan menggunakan kunci privat yang di miliki verifier tersebut. Dan setelah di dekripsikan maka keluar outputnya berupa *message digest* jika data dalam surat valid. Dan jika di palsukan hasilnya akan error atau tidak ditemukan. Berikut hasil proses validasi yang datanya masih valid ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Validasi *Digital Signature*

Setelah hasil validasi keluar, verifier bisa membandingkan apakah *message digest* RSA sama dengan *message digest* SHA, jika sama surat berarti asli atau valid sesuai keterangan di aplikasi dan jika hasil tidak sama surat sudah di modifikasi atau dipalsukan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Verifikasi dan validasi surat keterangan bebas Covid-19 dengan memanfaatkan *digital signature* dan teknologi QR Code berhasil dilakukan. SHA-1 digunakan untuk menghasilkan *message digest* terhadap surat keterangan hasil bebas covid-19. RSA digunakan untuk melakukan enkripsi dan dekripsi terhadap *message digest*. *Digital Signature* berhasil diimplementasikan dalam bentuk QR Code yang berisikan identitas pasien, hasil tes, identitas dokter dan penerbit surat. Proses Verifikasi dan Validasi berhasil dilakukan. Verifikasi dan Validasi terhadap *digital signature* menunjukkan hasil yang VALID yaitu *message digest* hasil dekripsi memiliki nilai yang sama dengan *message digest* asli.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. E. Budiando, "Polisi Bongkar Pemalsuan Surat Tes Antigen COVID-19 di Mojokerto," 2021. <https://news.detik.com/berita-jawa-timur/d-5542944/polisi-bongkar-pemalsuan-surat-tes-antigen-covid-19-di-mojokerto> (accessed May 31, 2021).
- [2] A. F. Tita Meydhalifah, Dewantara, "4 Kasus Pemalsuan Surat Rapid Test, Lupa Ubah Nomor hingga Palsukan Tanda Tangan Dokter," 2021. <https://regional.kompas.com/read/2021/01/26/13010031/4-kasus-pemalsuan-surat-rapid-test-lupa-ubah-nomor-hingga-palsukan-tanda?page=all> (accessed May 31, 2021).
- [3] N. Sudika, "Komplotan Penjual Surat Sehat Covid-19 di Jebrana Bali Ditangkap Polisi,"

2021. <https://news.okezone.com/read/2021/05/10/340/2408544/komplotan-penjual-surat-sehat-covid-19-di-jebrana-bali-ditangkap-polisi> (accessed May 31, 2021).
- [4] S. Wiryono, "RS Mitra Keluarga Bantah Terlibat Jual Beli Surat Keterangan Bebas Covid-19 di Tokopedia," 2020. <https://megapolitan.kompas.com/read/2020/05/14/17454181/rs-mitra-keluarga-bantah-terlibat-jual-beli-surat-keterangan-bebas-covid> (accessed May 31, 2021).
- [5] R. Armanda, "BREAKING NEWS: GAWAT, 1.252 Surat Bebas Covid-19 Dipalsukan Calo Tiket Bandara Pekanbaru," 3 Juni 2021, 2021. https://pekanbaru.tribunnews.com/2021/06/03/gawat-1252-surat-bebas-covid-19-dipalsukan-calo-tiket-bandara-polda-riau-bakal-usut-pemesannya?page=4&_ga=2.180696807.1536148080.1628496474-1471804687.1626341055 (accessed Aug. 09, 2021).
- [6] T. Yuniati and M. F. Sidiq, "Literature Review: Legalisasi Dokumen Elektronik Menggunakan Tanda Tangan Digital sebagai Alternatif Pengesahan Dokumen di Masa Pandemi," *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 4, no. 6, 2020, doi: 10.29207/resti.v4i6.2502.
- [7] F. Z. Abraham, P. I. Santosa, and W. W. Winarno, "Tandatangan Digital Sebagai Solusi Teknologi Informasi Dan Komunikasi (Tik) Hijau: Sebuah Kajian Literatur (Digital Signature As Green Information and Communication Technology (Ict) Solution: a Review Paper)," *Masy. Telemat. Dan Inf. J. Penelit. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 9, no. 2, p. 111, 2018, doi: 10.17933/mti.v9i2.120.
- [8] A. Khrykova, M. Bolsunovskaya, S. Shirokova, and A. Novopashenny, "Implementation of digital signature technology to improve the interaction in company," *E3S Web Conf.*, vol. 244, pp. 1–7, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202124412023.
- [9] R. A. Azdy, "Tanda tangan Digital Menggunakan Algoritme Keccak dan RSA," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 5, no. 3, pp. 184–191, 2016, doi: 10.22146/jnteti.v5i3.255.
- [10] T. F. Prasetyo and A. Hikmawan, "Analisis Perbandingan dan Implementasi Sistem Keamanan data menggunakan metode RC4 SHA dan MD5," *Infotech J.*, vol. 2, no. 1, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.31949/inf.v2i1.166>.
- [11] D. Puspitasari and Y. Permanasari, "Kriptografi Rivest Shamir Adleman (RSA) pada Tanda Tangan Digital," *Pros. Mat.*, pp. 14–20, 2020, doi: 10.33633/tc.v18i2.2166.
- [12] Y. Anshori, A. Y. Erwin Dodu, and D. M. P. Wedananta, "Implementasi Algoritma Kriptografi Rivest Shamir Adleman (RSA) pada Tanda Tangan Digital," *Techno.Com*, vol. 18, no. 2, pp. 110–121, 2019, doi: 10.33633/tc.v18i2.2166.
- [13] E. C. Prabowo and I. Afrianto, "Penerapan Digital Signature Dan Kriptografi Pada Otentikasi Sertifikat Tanah Digital," *Komputa J. Ilm. Komput. dan Inform.*, vol. 6, no. 2, pp. 83–90, 2017, doi: 10.34010/komputa.v6i2.2481.
- [14] F. Nuraeni, Y. H. Agustin, and I. M. Muharam, "Implementasi Tanda Tangan Digital Menggunakan RSA dan SHA-512 Pada Proses Legalisasi Ijazah," *Knsi 2018*, pp. 864–869, 2018.
- [15] H. Mursid, J. Supardi, and M. Q. Rizkie, "Pengujian Integritas File Operasi Tanda Tangan Digital Menggunakan Kombinasi Hash MD5, RSA dan Skema Qr-Cod," *J. Ilmu Komput. dan Teknol. Inf.*, vol. 14, no. 2, pp. 30–37, 2022.
- [16] D. Rachmawati, J. T. Tarigan, and A. B. C. Ginting, "A comparative study of Message Digest 5(MD5) and SHA256 algorithm," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 978, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/978/1/012116.