Available *online* at : http://jurnal.utu.ac.id/jakbis

Jurnal AKBIS

| ISSN (Print) 2599-2058 | ISSN (Online) 2655-5050 |

AKBIS Media Riset Akuntansi dan Bisnis

The Future of Auditing: Applying Digital Technology to Enhance Auditor Independence

Ummi Askiah [1*], *Donny Maha Putra* [2]

[1,2] *Veteran National Development University Jakarta, Jakarta Selatan, 12450, Indonesia*

ARTICLE INFORMATION

Received: October 01, 2024
Revised: February 02, 2025
Available online: April 30, 2025

KEYWORDS

Artificial Intelligence, Audit Digital, Independensi Auditor, *Blockchain*, Teknologi Audit.

CORRESPONDENCE

Phone : +6185290289126

E-mail : 2310124002@mahasiswa.upnvj.ac.id

A B S T R A C T

This study examines the implementation of digital technology, particularly Artificial Intelligence (AI) and blockchain, in enhancing auditor independence as well as the effectiveness and efficiency of the audit process. The background of this research is the prevalence of accounting scandals and fraudulent financial reporting, which have caused significant losses to companies and diminished investor confidence. Independent auditors are expected to provide an objective review of the accuracy of financial information presented by company management. However, long-term close relationships between auditors and clients can undermine independence and objectivity in audit outcomes. By integrating AI technology, auditors can reduce human bias and enhance their ability to detect anomalies and risks that may not be visible through traditional methods. AI can automate data analysis processes, identify fraud patterns, and improve the accuracy and speed of audits. This study employs a qualitative method with a scoping review approach to gather data from various literatures related to the role of AI in auditing, accessed through platforms such as Google Scholar and Science Direct. The research findings indicate that digital technology has great potential to improve audit quality by minimizing human errors, increasing transparency, and strengthening investor confidence in financial reports. Additionally, the study highlights the importance of AI and blockchain adoption by audit firms and managers in enhancing performance and reducing the risk of audit failure. The practical implications of these findings emphasize the need for proper planning and regulation in AI adoption to ensure optimal outcomes, as well as the importance of training for accounting professionals to master these technologies. This study recommends further research on the impact of digitalization on small audit firms and the role of AI in improving corporate governance.

PENDAHULUAN

Kecurangan dalam pelaporan laporan keuangan merupakan masalah besar dalam perekonomian. Skandal akuntansi besar sering terjadi (misalnya Enron, WorldCom, Waste Management, Toshiba, Luckin Coffee, Wirecard, dan sebagainya) dan konsekuensinya biasanya serius. Misalnya, ditemukan bahwa perusahaan kehilangan sekitar 29% nilai sahamnya ketika penipuan tersebut ditemukan (Choi & Gipper, 2024). Kebangkrutan memiliki keterkaitan dengan tindakan kecurangan (Bhavani & Amponsah, 2017). Fraud atas laporan keuangan terjadi karena adanya penyajian yang keliru yang disengaja atas laporan keuangan perusahaan dengan tujuan memberikan kesan yang salah kepada investor tentang operasi perusahaan, kinerja perusahaan.

Auditor independen memiliki peran krusial dalam menjaga integritas laporan keuangan dengan memberikan penilaian obyektif yang penting bagi kepercayaan investor dan efisiensi pasar. Dengan metode seperti analisis varians, pengujian signifikansi, observasi langsung, serta wawancara karyawan, auditor mendeteksi potensi fraud. Di era modern, integrasi teknologi seperti analisis data dan *machine learning* telah memperkuat kemampuan auditor dalam menemukan pola tidak biasa yang mengindikasikan kecurangan. Namun, auditor masih menghadapi tantangan besar, termasuk manipulasi canggih oleh manajemen dan tekanan untuk tidak mengungkapkan temuan negatif, seperti yang terjadi pada kebangkrutan Lehman Brothers. Pada kasus tersebut, Ernst & Young, auditor eksternal Lehman, gagal mengidentifikasi praktik akuntansi yang menyesatkan, hal tersebut menunjukkan kelemahan dalam independensi dan ketelitian auditteori, empiris, kontribusi, dan implikasi penelitian yang lebih luas.

Hubungan jangka panjang antara auditor dan klien juga berisiko melemahkan independensi auditor, yang pada akhirnya bisa memengaruhi objektivitas audit. Skandal besar seperti Enron dan Tyco memperkuat pentingnya menjaga kualitas audit, meskipun reformasi seperti UU Sarbanes-Oxley telah memperkuat pengawasan auditor melalui badan pengawas seperti PCAOB dan komite audit. Kualitas audit tetap menjadi perhatian utama para pemangku kepentingan, terutama dalam memastikan keandalan informasi keuangan. Penerapan teknologi audit digital menawarkan solusi dengan mengurangi bias manusia dan meningkatkan objektivitas proses audit, memungkinkan auditor untuk lebih efektif mendeteksi dan melaporkan potensi fraud tanpa terpengaruh oleh hubungan pribadi dengan manajemen perusahaan.

Transisi dari masalah audit tradisional ke solusi digital merupakan evolusi yang signifikan dalam profesi akuntansi dan audit, yang didorong oleh kemajuan teknologi seperti blockchain dan kecerdasan buatan (AI). Audit tradisional telah lama dicirikan oleh proses manual, ketergantungan pada data historis, dan kurangnya informasi waktu nyata, yang sering kali menyebabkan ketidakefisienan dan ketidakakuratan dalam pelaporan keuangan. Integrasi solusi digital, khususnya teknologi blockchain, memiliki potensi untuk mengatasi masalah ini dengan meningkatkan transparansi, keamanan, dan

https://doi.org/10.35308/akbis.v0i0.10455
Attribution-ShareAlike 4.0 International. Some rights reserved

efisiensi dalam proses audit. Digitalisasi telah berdampak signifikan terhadap pasar tenaga kerja (Dengler & Matthes, 2018) dan mengubah cara berbisnis di semua bidang aktivitas termasuk perusahaan audit. Termasuk konsensus mengenai dampaknya terhadap organisasi dan aktivitas karyawan dapat diidentifikasi (dumitru, 2016).

Teknologi blockchain, seperti yang disoroti oleh Abdennadher dkk., secara fundamental mengubah lanskap audit dengan menyediakan cara yang terdesentralisasi dan otomatis untuk mengumpulkan dan memverifikasi bukti audit. Teknologi ini memungkinkan pelacakan transaksi secara real-time, yang secara signifikan dapat mengurangi waktu yang dihabiskan auditor untuk proses verifikasi dan rekonsiliasi data (Abdennadher et al., 2022). Desplebin et al., (2021) menekankan bahwa karakteristik *blockchain* seperti kekekalan dan transparansi dapat mengarah pada perubahan transformatif dalam sistem akuntansi, dan memungkinkan auditor untuk melakukan audit yang lebih menyeluruh dan efisien. Ia juga menjelaskan bahwa kemampuan blockchain untuk meningkatkan integritas data dan mengurangi risiko penipuan sangat relevan dalam ekonomi digital saat ini, di mana kepercayaan terhadap informasi keuangan sangat penting.

Selain blockchain, AI juga membentuk kembali lanskap audit. Penerapan AI dalam audit dapat meningkatkan kualitas audit dengan meningkatkan akurasi dan keandalan dalam pelaporan keuangan (Adeoye et al., 2023). Zhang et al., (2020) membahas bagaimana AI, bersama dengan blockchain, merevolusi profesi akuntan dengan memungkinkan analisis data yang lebih canggih dan proses pengambilan Keputusan. Namun, integrasi AI menghadirkan tantangan tersendiri, termasuk kekhawatiran akan kualitas data, keamanan, dan kebutuhan auditor untuk menyesuaikan keahlian mereka untuk memanfaatkan teknologi ini secara efektif (Chen et al., 2023).

Pada penelitian sebelumnya, menyebutkan bahwa AI dapat secara signifikan meningkatkan keandalan dan ketepatan waktu pelaporan keuangan, yang sangat penting untuk menjaga independensi auditor (Adeoye et al., 2023; Zhang et al., 2020). Penerapan AI dalam proses audit memungkinkan analisis data dan penilaian risiko yang lebih menyeluruh, sehingga memungkinkan auditor untuk fokus pada tugas-tugas bernilai lebih tinggi yang membutuhkan pertimbangan profesional (Chen et al., 2023; Tandiono, 2023). Namun, tantangan seperti potensi perpindahan pekerjaan dan kebutuhan auditor untuk beradaptasi dengan teknologi baru, yang dapat membebani independensi mereka jika tidak dikelola dengan baik (Hasan, 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi bagaimana kecerdasan buatan (AI) dan blockchain dapat digunakan sebagai solusi untuk mengatasi tantangan dalam menjaga independensi auditor. AI memiliki kemampuan untuk mengurangi bias manusia dalam proses audit, meningkatkan deteksi penipuan, dan mempercepat analisis data dengan lebih obyektif. Sementara itu, blockchain menyediakan sistem yang transparan dan tidak dapat diubah, mengurangi risiko manipulasi data dan benturan kepentingan yang mungkin timbul dari hubungan jangka panjang antara auditor dan klien. Kedua teknologi ini diharapkan dapat menciptakan proses audit yang lebih analitis, transparan, dan independen.

Selain itu, penelitian berkaitan dengan teknologi blockchain menjelaskan bahwa blockchain memberikan dampak yang saling melengkapi namun berbeda terhadap independensi auditor. Teknologi ini menawarkan buku besar yang terdesentralisasi dan tidak dapat diubah yang dapat meningkatkan transparansi dan ketertelusuran transaksi keuangan, sehingga memperkuat peran auditor sebagai verifikator independen atas laporan keuangan (Desplebin et al., 2021; Fang et al., 2023; Secinaro et al., 2021). Blockchain dapat meningkatkan kualitas informasi akuntansi dan memfasilitasi tata kelola perusahaan yang lebih baik, yang sangat penting untuk menjaga independensi auditor (Fang et al., 2023; Kravchenko et al., 2023). Namun, masih ada kesenjangan dalam memahami implikasi regulasi dan tata kelola blockchain dalam praktik audit, serta tantangan sosio-ekonomi yang terkait dengan pengadopsiannya (Abdennadher et al., 2022; Sheela et al., 2023).

Penelitian terkait penerapan teknologi digital dalam audit telah berkembang pesat, terutama dalam mengkaji potensi teknologi seperti kecerdasan buatan (AI) dan blockchain untuk meningkatkan kualitas audit. Beberapa studi menunjukkan bahwa AI dapat mempercepat dan meningkatkan akurasi proses audit serta membantu mendeteksi kecurangan dengan lebih efektif dibandingkan metode audit tradisional (Kokina & Davenport, 2017; Moffitt et al., 2018). Namun, penelitian-penelitian ini lebih banyak berfokus pada aspek teknis penerapan AI dalam audit, sementara peran teknologi ini dalam menjaga independensi auditor masih jarang dibahas secara mendalam. Selain itu, meskipun blockchain diakui mampu meningkatkan transparansi dan keamanan data keuangan (Desplebin et al., 2021), masih ada keterbatasan dalam memahami bagaimana teknologi ini dapat memperkuat independensi auditor, khususnya dalam mengurangi risiko benturan kepentingan yang disebabkan oleh hubungan jangka panjang antara auditor dan klien.

Kesenjangan utama dari penelitian terdahulu adalah kurangnya eksplorasi mendalam mengenai dampak kombinasi teknologi AI dan blockchain dalam menjaga independensi auditor serta potensi penerapannya dalam mencegah kecurangan keuangan. Penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan tersebut dengan mengeksplorasi bagaimana integrasi AI dan blockchain dapat digunakan sebagai solusi yang efektif dalam menjaga independensi auditor dan meningkatkan kualitas audit. Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan wawasan baru mengenai peran dua teknologi tersebut dalam menciptakan proses audit yang lebih obyektif, transparan, dan efisien, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kepercayaan investor terhadap laporan keuangan perusahaan.

KAJIAN TEORI

Agency Theory

Beberapa teori dapat menjelaskan permintaan jasa audit dalam kaitannya dengan tata kelola perusahaan. Manita et al., (2020) menyatakan bahwa kebutuhan akan jasa audit eksternal dapat mengurangi risiko manajemen laba oleh manajer dan akibatnya meningkatkan kualitas informasi akuntansi yang dikomunikasikan kepada para pemangku kepentingan. Dalam konteks ini, prinsipal (pemangku kepentingan) mengendalikan aktivitas agen (manajer) untuk membatasi biaya keagenan (Jensen & Meckling, 1976). Menurut Watts & Zimmerman dalam penelitian (Manita et al., 2020) menyebutkan bahwa Audit eksternal mengurangi risiko publikasi informasi yang

 https://doi.org/10.35308/akbis.v0i0.10455

salah kepada para pemegang saham dan memungkinkan mereka untuk mengambil keputusan yang akurat berdasarkan informasi yang dapat dipercaya. Dengan demikian, peran utama audit adalah untuk meningkatkan kredibilitas informasi akuntansi yang dipublikasikan. Auditor yang diberi mandat oleh para pemegang saham, mengontrol laporan keuangan, kompensasi manajer dan semua kontrak-kontrak yang dibuat oleh para manajer. Dengan memberikan opini yang independen kepada para pemegang saham atas keandalan informasi akuntansi yang dihasilkan oleh para manajer, audit dapat mendorong tata kelola perusahaan yang lebih baik dengan mengurangi asimetri informasi antara kedua belah pihak serta kekuasaan diskresioner para manajer (Jensen & Meckling, 1976). Namun demikian, dengan hanya mempertimbangkan hubungan pemegang saham dengan manajer, teori keagenan membatasi peran manajer hanya pada kepuasan pemegang saham. Namun, manajer harus memuaskan beberapa pemangku kepentingan seperti pemasok, pelanggan, karyawan, bank, masyarakat dan pemangku kepentingan lainnya.

Secara tradisional, audit memiliki tiga peran sebagai mekanisme tata telola, pertama monitoring terdiri dari mengurangi biaya keagenan dengan mengendalikan kualitas informasi akuntansi yang dihasilkan oleh manajer (agen) dan dengan membatasi kekuasaan diskresioner mereka. Kedua, sebagai informasi, melalui informasi auditor harus memverifikasi keandalan dan kewajaran informasi akuntansi yang menjadi dasar pengambilan keputusan oleh pemegang saham dan pemangku kepentingan lainnya. Ketiga, peran asuransi tidak mengatasi masalah asimetri informasi antara pemegang saham dan manajer, tetapi risiko yang dapat dialihkan oleh manajer ke entitas lain untuk menyembunyikan situasi keuangan perusahaan. Dalam hal ini, peran auditor adalah untuk meyakinkan investor bahwa risiko-risiko tersebut tidak ada.

Untuk mencapai tujuan mereka, perusahaan audit dapat menggunakan digital baru untuk mengotomatiskan pemrosesan data dan membatasi campur tangan manusia. Sistem informasi (termasuk sistem akuntansi) akan semakin terintegrasi, terkunci dan aman. Hal ini akan mengurangi masalah asimetri informasi antara manajer dan pemangku kepentingan serta transfer risiko. Dengan demikian, permintaan audit yang terkait dengan tiga peran tradisional ini, tidak akan lagi memiliki besaran yang sama dan akan dipengaruhi oleh perkembangan teknologi. Literatur menyebutkan bahwa peran audit yang baru, terkait dengan peran asurans sedang muncul (Manita et al., 2020). Audit dapat meluas ke area asurans lainnya di berbagai domain di mana investor dan pemangku kepentingan lainnya perlu diyakinkan, seperti ukuran kinerja, keandalan sistem informasi, e-commerce, keamanan cyber, tanggung jawab sosial dan lingkungan serta lainnya.

Namun, beberapa literatur menyatakan anggapan bahwa perluasan audit ke bidang-bidang lain tergantung pada legitimasi yang dimiliki oleh perusahaan audit untuk memastikan audit di bidang-bidang baru ini. Hal ini akan bergantung pada kemampuan profesi untuk mengembangkan praktik dan program audit (Andon et al., 2014) dan pada kemampuannya untuk menguasai teknologi baru, untuk mengembangkan penawaran audit mereka dan membangun legitimasi mereka di bidang-bidang baru ini.

Disruptive Technology Theory

Disruptive Technology Theory, diperkenalkan oleh Clayton Christensen (1997), memberikan perspektif bagaimana teknologi baru yang sederhana dapat mengganggu dan mengubah cara kerja industri yang mapan. Teknologi disruptif biasanya dimulai dari pasar yang kurang terlayani, tetapi dengan cepat meningkatkan kualitasnya sehingga menggeser pemain utama yang sudah ada di industry (Li et al., 2024; Otike et al., 2022).

Dalam konteks audit, AI dan blockchain dapat dilihat sebagai teknologi disruptif. Kedua teknologi ini menawarkan perubahan radikal dalam proses audit tradisional yang selama ini bergantung pada analisis manual dan data historis. Blockchain menghadirkan inovasi dalam bentuk sistem desentralisasi yang transparan dan aman, yang mampu mengurangi risiko manipulasi data keuangan. AI, di sisi lain, memungkinkan analisis data secara real-time dengan kecepatan dan akurasi yang jauh lebih baik dibandingkan metode tradisional. Inovasi ini menggantikan metode lama yang tidak efisien dan berisiko, sekaligus menciptakan cara baru yang lebih adaptif terhadap kebutuhan audit modern.

Penerapan teori ini pada penelitian berfungsi untuk menyoroti bagaimana teknologi disruptif seperti AI dan blockchain dapat mengubah praktik audit tradisional. Auditor tidak lagi harus bergantung pada analisis manual yang rentan terhadap bias manusia, tetapi dapat menggunakan alat teknologi yang lebih canggih dan obyektif untuk meningkatkan kualitas dan independensi audit. Dengan demikian, inovasi teknologi ini tidak hanya relevan dalam meningkatkan kinerja audit, tetapi juga membawa perubahan signifikan dalam tata kelola keuangan dan akuntansi perusahaan.

Artificial Intelegence

AI adalah cabang dari ilmu komputer dan teknik yang berkaitan dengan pengembangan mesin cerdas atau komputer yang mampu menalar, belajar, dan bertindak secara mandiri. Aplikasi AI dapat menganalisis data dalam jumlah besar, mengenali pola, dan membuat keputusan sendiri (Noordin et al., 2022). Otomatisasi banyak tugas yang saat ini dilakukan oleh manusia, seperti entri data dan analisis, adalah alasan utama untuk popularitasnya yang semakin meningkat. Hal ini membuat audit menjadi jauh lebih efisien dan hemat biaya, sehingga memberikan wawasan yang lebih luas kepada tim audit mengenai bisnis yang mereka audit (Hasan, 2022). Manfaat lain dari penggunaan AI dalam audit adalah dapat membantu mengurangi risiko kesalahan manusia. Dengan mengotomatiskan tugas-tugas tertentu, tim audit dapat dengan mudah mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan yang mungkin terjadi. Hal ini sangat penting terutama dalam kasus-kasus di mana keakuratan data keuangan sangat penting.

Penggunaan AI dalam audit masih dalam tahap awal di UEA, tetapi beberapa perusahaan sudah menggunakannya untuk membantu proses audit. Etisalat, misalnya, menggunakan AI untuk membantu layanan pelanggan, dan perusahaan seperti *PricewaterhouseCoopers* (PwC) menggunakannya untuk membantu proses audit dan kepatuhan (Noordin et al., 2022). Ada beberapa cara AI dapat digunakan dalam audit. AI dapat digunakan untuk membantu analisis data dan peninjauan dokumen serta membantu proses pengambilan keputusan. Selain itu, AI dapat digunakan untuk

membuat laporan yang disesuaikan dengan kebutuhan organisasi (Noordin et al., 2022).

Dampak AI pada bidang akuntansi. dengan menunjukkan jumlah perkembangan di sektor akuntansi terkait otomatisasi proses akuntansi. Chukwuani et al., (2020) menyimpulkan dengan menguraikan peran yang dimainkan oleh akuntan dalam otomatisasi kontemporer dan bagaimana akuntan di abad ke-21 dapat menyesuaikan diri dengan otomatisasi yang meluas di industri. Melalui penelitian deskriptif berbasis survei, Chukwudi et al., (2018) mempresentasikan dampak AI pada tugas-tugas akuntansi. Dalam penelitiannya, mereka menemukan bahwa penggunaan AI memiliki dampak yang baik terhadap seberapa baik perusahaan akuntansi di Nigeria Tenggara dalam menjalankan tugasnya. Dalam sebuah studi tentang perusahaan-perusahaan Malaysia yang menggunakan berbagai perangkat lunak akuntansi berbasis AI, Lee dan Tajudeen dalam Noordin et al., (2022) menemukan bahwa penggunaan AI tidak terbatas pada perusahaan-perusahaan besar. Mereka juga menyadari bahwa perusahaan menggunakan perangkat lunak akuntansi berbasis AI untuk menyimpan gambar faktur dan mengotomatiskan proses pengumpulan informasi.

METODE

Metode Kualitatif

Artikel ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan *scoping review* untuk mengeksplorasi peran kecerdasan buatan (AI) dan blockchain dalam meningkatkan independensi auditor. Sumber data dalam penelitian ini berasal dari literatur sekunder yang dikumpulkan melalui beberapa basis data akademik terkemuka, seperti Google Scholar, Science Direct, dan Publish or Perish, yang memungkinkan akses ke artikel-artikel ilmiah terkait peran teknologi digital dalam proses audit. Artikel yang digunakan sebagai referensi dipilih berdasarkan relevansinya dengan topik dan telah dipublikasikan dalam kurun waktu lima tahun terakhir untuk memastikan bahwa data yang digunakan masih relevan dan up-to-date.

Dalam proses pengumpulan data, penelitian ini memfokuskan pada studi-studi yang membahas AI dan blockchain dalam konteks audit, terutama yang terkait dengan aspek independensi auditor, peningkatan kualitas audit, serta penerapan teknologi digital dalam mencegah fraud keuangan. Setiap artikel yang diidentifikasi dievaluasi menggunakan kriteria inklusi yang mencakup: (1) penelitian yang berfokus pada peran teknologi dalam audit, (2) studi kasus atau hasil eksperimen tentang efektivitas teknologi digital dalam mendeteksi kecurangan, dan (3) literatur yang menjelaskan tantangan serta peluang yang dihadapi auditor dalam mengintegrasikan teknologi seperti AI dan blockchain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan AI Dalam Audit

Kecerdasan buatan (AI) merupakan "sistem berbasis mesin yang dapat membuat prediksi, saran, atau penilaian yang mempengaruhi lingkungan aktual atau virtual untuk serangkaian tujuan tertentu yang ditentukan manusia" (Noordin et al., 2022). Dalam bidang audit, kemajuan teknologi telah menciptakan banyak dan kemungkinan penelitian yang signifikan. Karena auditor eksternal menghadapi sistem yang semakin canggih sistem sisi klien, kebutuhan baru untuk memahami bagaimana memberikan asurans pada sistem klien yang rumit sekaligus memanfaatkan teknologi dan analisis data yang semakin canggih selama pekerjaan pengujian audit telah muncul. Akibatnya, untuk mempertahankan keunggulan kompetitif, profesi audit berkembang dengan mengadopsi teknologi AI.

Karena telah menjadi tantangan untuk memahami kinerja keuangan dan non-keuangan perusahaan dalam memanfaatkan data terstruktur dan tidak terstruktur dalam jumlah yang sangat besar, Kokina & Davenport, (2017) menyatakan bahwa audit sangat cocok untuk analisis data dan aplikasi AI. Konsultasi klien, penyediaan layanan seperti audit dan deteksi kecurangan, dan peningkatan operasi internal perusahaan audit merupakan penggunaan AI yang mungkin dilakukan oleh perusahaan audit. AI digunakan untuk membantu meningkatkan akurasi dan efisiensi proses audit, serta untuk mendeteksi potensi masalah pada laporan keuangan perusahaan dan untuk mendeteksi potensi kecurangan pada pembukuan. AI juga digunakan untuk mencari masalah dengan metode akuntansi perusahaan. AI membantu meningkatkan akurasi prosedur akuntansi perusahaan lebih jauh lagi (Kaplan & Haenlein, 2019). Selain itu, teknologi juga telah berkontribusi pada peningkatan kualitas audit. AI telah membantu memastikan bahwa proses audit selesai tepat waktu, akurat, dan menyeluruh.

Menurut Raji dan Buolamwini dalam Noordin et al., (2022), banyak proses audit yang sebelumnya membutuhkan tenaga kerja manual kini diotomatisasi oleh AI, termasuk proses entri data. Sistem AI tidak seperti auditor manusia, dapat memeriksa 100% data, membuat tes audit, dan menulis skrip. Analisis entri akuntansi yang terkomputerisasi adalah salah satu cara AI mengubah audit. Meminimalkan kesalahan manusia adalah manfaat ketika menggunakan AI untuk membuat entri otomatis. AI dapat mendeteksi entri yang curang dan meningkatkan peringatan di kantor pusat, selain mengurangi campur tangan manusia (Moffitt et al., 2018).

Secara keseluruhan, AI adalah perangkat penting yang dapat membantu efisiensi dan efektivitas biaya audit. AI juga telah terbukti sebagai metode yang dapat diandalkan untuk mengurangi kemungkinan kesalahan manusia. AI harus dieksplorasi jika perusahaan mencari teknik baru untuk meningkatkan proses audit mereka. Sebagai bagian dari proses audit, salah satu elemen yang harus dievaluasi adalah risiko salah saji material. Jika konsekuensi keuangan tidak didokumentasikan secara memadai, laporan keuangan kemungkinan besar akan salah saji material. Oleh karena itu, auditor diharapkan untuk mengevaluasi transaksi untuk memastikan tidak ada salah saji. Hal ini dapat menjadi tantangan bagi auditor untuk mendeteksi ketidakberesan di kemudian hari jika transaksi terlarang dan/atau anomali lainnya tidak segera diidentifikasi.

Auditor tidak dapat selalu menjadi yang bertanggung jawab atas laporan keuangan klien karena kesalahan manusia dalam mendeteksi kecurangan, seperti dalam kasus pemalsuan oleh ahli dan penghalang deteksi. Transaksi yang berisiko tinggi dapat dengan mudah ditemukan dengan menggunakan teknologi audit berbasis AI. Hal ini merupakan sesuatu yang tidak dapat dideteksi secara menyeluruh oleh proses audit manual karena pengujian populasi sampel, tetapi teknologi AI memungkinkan pengujian seluruh populasi. Mengintegrasikan AI ke dalam setiap langkah proses audit menghilangkan tugas

 https://doi.org/10.35308/akbis.v0i0.10455

yang berulang-ulang dan memudahkan auditor untuk menganalisis data dalam jumlah besar untuk mendapatkan gambaran menyeluruh tentang operasi bisnis (Kokina & Davenport, 2017). Hal ini juga memudahkan auditor untuk fokus pada aktivitas yang memberikan nilai terbesar bagi klien (Luo et al., 2018). Menggunakan teknologi berbasis AI dalam audit memberikan pilihan bagi auditor untuk mengotomatiskan prosedur audit dari tahap ke tahap (Moffitt et al., 2018). Dari pra-pelibatan hingga penyajian opini laporan audit, efektivitas sangat penting di setiap tahap (Kokina & Davenport, 2017).

Seiring dengan semakin kompleksnya operasi di lingkungan bisnis saat ini, alat bantu keputusan berbasis teknologi yang menjadi semakin penting. Oleh karena itu, untuk tetap menjadi yang terdepan, profesi audit beradaptasi dengan transisi ini dengan menggabungkan teknologi AI. Mempertimbangkan kebutuhan untuk mengadopsi alat bantu AI dan skeptisisme profesional auditor yang baik, AI dipandang sebagai aspek yang mendasari yang akan meningkatkan interaksi antara alat bantu AI dan proses audit. Hal ini mengharuskan adanya modifikasi dari model penelitian awal untuk memasukkan kemampuan penggunaan alat teknologi informasi (TI) dan kompetensi audit profesional.

Penggunaan teknologi AI mendukung peningkatan akurasi dan efisiensi proses audit. Teknologi ini juga membantu dalam mengidentifikasi potensi masalah pada laporan keuangan perusahaan dan telah membantu mengidentifikasi potensi kecurangan pada pembukuan perusahaan. Ini juga bermanfaat untuk mengidentifikasi potensi masalah dengan praktik akuntansi perusahaan. Menerapkan AI membantu meningkatkan akurasi operasi akuntansi perusahaan (Kaplan & Haenlein, 2019). Selain itu, menurut (Adeoye et al., 2023) teknologi ini juga membantu meningkatkan kualitas audit. Penggunaan AI telah membantu memastikan bahwa audit dilakukan secara tepat waktu, akurat, dan menyeluruh.

Terbukti, AI adalah alat yang ampuh yang dapat membantu membuat audit menjadi lebih efisien dan hemat biaya. AI juga telah terbukti menjadi cara yang dapat diandalkan untuk mengurangi risiko kesalahan manusia. AI harus dipertimbangkan jika organisasi mencari cara inovatif untuk meningkatkan proses audit mereka. Selain itu, AI dapat meningkatkan kualitas audit dengan meningkatkan akurasi dan ketepatan waktu dalam pelaporan keuangan, yang sangat penting untuk menjaga independensi auditor. Kemampuan AI untuk memproses data dalam jumlah besar dengan cepat memungkinkan auditor untuk fokus pada tugas-tugas analitis tingkat tinggi daripada pemeriksaan rutin, sehingga meningkatkan peran mereka sebagai penilai independen atas informasi keuangan. Pergeseran ini tidak hanya meningkatkan kualitas audit, tetapi juga sejalan dengan teori pemangku kepentingan, yang menekankan pentingnya memenuhi kebutuhan dan harapan berbagai pemangku kepentingan, termasuk investor dan badan pengatur.

Beberapa penelitian berfokus pada bagaimana AI digunakan dalam audit. Sebagai contoh, menyelidiki bagaimana AI digunakan dalam audit melalui "Audit Kognitif". Audit kognitif adalah proses terkomputerisasi yang menggunakan AI untuk membantu auditor menemukan kesalahan dan masalah dalam laporan keuangan. IBM menciptakan audit kognitif, yang menggunakan algoritma pembelajaran mesin untuk membantu auditor dalam mengidentifikasi kesalahan dan anomali dalam pelaporan keuangan (Noordin et al., 2022). Studi lain yang dilakukan oleh Ganther dalam Noordin et al., (2022) mengkonfirmasi bahwa AI digunakan dalam audit untuk membantu auditor menemukan kesalahan dan masalah dalam laporan keuangan dengan lebih cepat. AI juga digunakan untuk membantu auditor mengidentifikasi pola dalam data dan membuat prediksi atau keputusan.

AI merevolusi proses audit dan perangkat lunak audit yang mendukung. AI dapat melakukan audit yang kompleks dengan lebih efisien dan akurat daripada yang dapat dilakukan oleh manusia. AI juga dapat menganalisis data dalam jumlah besar dengan jauh lebih cepat dan efektif daripada yang dapat dilakukan oleh auditor manusia. Ini berarti bahwa AI dapat memainkan peran yang jauh lebih penting dalam proses audit dan kemungkinan akan menjadi semakin penting di tahun-tahun mendatang. Penggunaan AI dalam membantu auditor untuk mengidentifikasi dan mencegah kecurangan. AI dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola dalam data yang dapat mengindikasikan terjadinya kecurangan. Hal ini kemudian dapat digunakan untuk menyelidiki masalah ini lebih lanjut dan menangkap mereka yang bertanggung jawab. AI memiliki potensi yang sangat besar untuk meningkatkan proses audit secara keseluruhan, karena AI dapat mempercepat proses secara signifikan dan membantu memastikan bahwa audit dilakukan secara akurat dan efisien. Seiring dengan terus berkembangnya AI, perannya dalam audit kemungkinan akan menjadi lebih signifikan. AI akan meningkatkan kualitas aktivitas akuntansi dan menawarkan informasi yang lebih bermakna, dan AI dapat meningkatkan produktivitas dengan melakukan tugas-tugas tingkat tinggi lainnya dan menciptakan lapangan kerja baru.

Namun, transisi menuju audit digital juga menimbulkan pertimbangan penting terkait lingkungan regulasi. Seperti yang dicatat oleh Anis, kurangnya pedoman khusus untuk prosedur audit di lingkungan digital menghadirkan tantangan yang harus diatasi untuk mewujudkan manfaat blockchain dan AI sepenuhnya (Anis, 2023). Regulator dan badan-badan yang menetapkan standar akuntansi harus mengembangkan kerangka kerja yang memastikan integritas dan keandalan audit digital, sehingga melindungi kepentingan pemangku kepentingan. Hal ini sangat relevan dalam konteks teori keagenan, di mana peran auditor sebagai agen independen sangat penting untuk melindungi kepentingan prinsipal.

Blockchain Technology on Audit

Teknologi blockchain merupakan sebuah kemajuan yang signifikan dalam bidang akuntansi dan audit, yang ditandai dengan sifatnya yang terdesentralisasi, tidak dapat diubah, dan transparan. Pada intinya, blockchain adalah teknologi buku besar terdistribusi yang memungkinkan banyak pihak untuk mencatat transaksi dengan cara yang aman dan dapat diverifikasi tanpa memerlukan otoritas pusat. Fitur ini sangat berguna dalam proses audit, di mana integritas dan keakuratan data keuangan sangat penting. Salah satu manfaat utama blockchain untuk audit adalah kemampuannya untuk meningkatkan transparansi dan kepercayaan. Seperti yang ditunjukkan oleh (Secinaro et al., 2021) blockchain memfasilitasi transfer data *peer-to-peer*, memungkinkan akses waktu nyata ke informasi keuangan untuk semua pemangku kepentingan yang terlibat. Transparansi ini membantu mengurangi asimetri informasi, masalah mendasar dalam teori

agensi, di mana auditor harus bertindak demi kepentingan terbaik para pemangku kepentingan. Dengan menyediakan catatan transaksi yang jelas dan tidak dapat diubah, blockchain dapat secara signifikan mengurangi risiko penipuan dan manipulasi, sehingga memperkuat independensi dan akuntabilitas auditor.

Selain itu, teknologi blockchain memungkinkan audit berkelanjutan, sebuah pergeseran paradigma dari praktik audit tradisional yang mengandalkan penilaian berkala. Audit berkelanjutan memungkinkan auditor untuk memantau transaksi secara real-time, memberikan wawasan yang tepat waktu tentang kinerja keuangan dan kepatuhan. Kemampuan ini tidak hanya merampingkan proses audit tetapi juga meningkatkan kualitas pelaporan keuangan secara keseluruhan (Anis, 2023). Otomatisasi pengumpulan bukti audit melalui blockchain dapat menghasilkan audit yang lebih efisien, mengurangi waktu dan sumber daya yang dibutuhkan untuk pemeriksaan dan rekonsiliasi manual (Abdennadher et al., 2022). Dampak blockchain terhadap kualitas informasi akuntansi juga patut diperhatikan. Penelitian yang dilakukan oleh Fang et al., (2023) menunjukkan bahwa adopsi teknologi blockchain secara signifikan meningkatkan kualitas informasi akuntansi dengan memperkuat tata kelola perusahaan dan mendorong sinergi dengan perusahaan audit. Peningkatan ini sangat penting untuk menjaga kepercayaan pemangku kepentingan dan memastikan bahwa laporan keuangan secara akurat mencerminkan posisi keuangan organisasi. Selain itu, karakteristik blockchain, seperti keabadian dan keamanannya, menjadikannya solusi yang ideal untuk mengatasi tantangan yang terkait dengan metode audit tradisional. Desplebin et al. menyoroti bahwa blockchain dapat mengotomatiskan berbagai aspek dari proses audit, sehingga mengurangi kesalahan manusia dan bias (Desplebin et al., 2021). Otomatisasi ini tidak hanya meningkatkan keandalan audit, tetapi juga memungkinkan auditor untuk fokus pada tugas-tugas yang lebih strategis, seperti penilaian risiko dan layanan konsultasi.

Terlepas dari potensi blockchain yang menjanjikan dalam audit, tantangan tetap ada. Sheela mencatat bahwa ada kekurangan studi komprehensif tentang aspek regulasi dan tata kelola blockchain dalam akuntansi, yang dapat menghambat adopsi secara luas (Sheela et al., 2023). Selain itu, auditor harus mengembangkan keahlian dan pengetahuan yang diperlukan untuk secara efektif memanfaatkan teknologi blockchain dalam praktik mereka. Kebutuhan akan peningkatan keterampilan ini sampaikan oleh (Atik & Kelten, 2021) yang menekankan pentingnya memahami implikasi blockchain bagi para profesional akuntansi.

Risiko dan Manfaat AI

Beberapa peneliti telah menyelidiki potensi kelemahan AI dalam audit. Namun, potensi penggunaan AI untuk meminimalkan kebutuhan auditor manusia secara signifikan mungkin jauh lebih signifikan. Perusahaan mungkin tidak lagi membutuhkan auditor manusia untuk mengaudit pembukuan mereka karena AI menjadi lebih efisien dalam mengidentifikasi kesalahan dan anomali dalam data keuangan. Hal ini dapat mengakibatkan hilangnya pekerjaan yang signifikan di sektor audit (Noordin et al., 2022).

Menurut salah satu studi *University of Oxford* yang disebutkan oleh *Institute of Chartered Accountants in England and Wales (ICAEW 2016)*, 95% akuntan berisiko kehilangan pekerjaan karena perkembangan teknologi mesin baru. Chassignol et al., (2018) menyebutkan bahwa AI dapat mengancam keamanan data keuangan. Ketika AI menjadi lebih baik dalam mengidentifikasi pola dalam data, AI mungkin dapat mengidentifikasi informasi sensitif yang tidak boleh dieksploitasi oleh lembaga keuangan atau untuk melakukan kejahatan lainnya. Literatur juga menunjukkan keuntungan dari penerapan AI. Menurut argument (Kokina & Davenport, 2017), menjadi sulit untuk menggabungkan data terstruktur dan tidak terstruktur dalam jumlah besar untuk mendapatkan wawasan tentang kinerja keuangan dan non-keuangan perusahaan. Oleh karena itu, audit sangat cocok dengan analisis data dan aplikasi AI.

Demikian pula, mengotomatiskan tugas audit dapat mempercepat penyelesaian tugas audit sambil mempertahankan integritas data. Analisis otomatis atas entri akuntansi adalah salah satu cara di mana AI mentransformasi audit. Menurut (Moffitt et al., 2018) memanfaatkan AI untuk membuat entri otomatis membantu mengurangi kesalahan manusia dan terkadang mendeteksi intrusi penipuan untuk mengurangi intervensi manusia.

KESIMPULAN

Auditor eksternal merupakan pihak yang dapat memberikan opini dan mendeteksi adanya kecurangan dalam Perusahaan. Dalam melakukan audit, penting untuk dimiliki oleh auditor eksternal prinsip independen yang dapat menghindari adanya kegagalan deteksi kecurangan. Kecurangan dapat terjadi apabila auditor memiliki kepentingan pribadi dengan Perusahaan. Untuk meningkatkan dan menghindari adanya kecurangan yang diakibatkan oleh konflik kepentingan auditor, digital audit dapat diterapkan dengan bantuan AI.

Transisi dari masalah audit tradisional ke solusi digital bukan hanya sekadar peningkatan teknologi; ini merupakan perubahan mendasar dalam cara audit dilakukan dan bagaimana auditor berinteraksi dengan data keuangan. Integrasi teknologi blockchain dan AI menawarkan peluang yang signifikan untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi audit, tetapi juga membutuhkan evaluasi ulang terhadap praktik-praktik yang ada serta komitmen untuk terus belajar dan beradaptasi dalam profesi ini.

AI dapat membantu para praktisi dan peneliti dalam mengadopsi teknologi disruptif dalam proses audit. Sebagai konsekuensi dari mengetahui persepsi di antara para auditor eksternal dan penerimaan mereka terhadap penggunaan teknologi AI, AI dapat digunakan untuk membantu dalam pengauditan, dan pada saat yang sama, para auditor dapat meningkatkan keterampilan teknis mereka terlepas dari jenis perusahaan audit tempat mereka bekerja. Implikasi praktis dari temuan penelitian ini sangat penting bagi para profesional akuntansi dan eksekutif perusahaan. Para manajer di sektor swasta dan publik harus mempertimbangkan nilai dan pentingnya mengadopsi AI untuk meningkatkan kecepatan dan kualitas kerja. Namun, mereka harus merencanakan dan mengatur adopsi AI untuk menghindari hasil yang tidak memuaskan. Selain itu, manajer harus memilih profesional akuntansi yang terampil yang dapat berintegrasi dengan sistem AI ini untuk meningkatkan kinerja perusahaan dan mengurangi risiko penyalahgunaan sistem AI.

https://doi.org/10.35308/akbis.v0i0.10455

Perpaduan teknologi blockchain dan AI mewakili pergeseran paradigma dalam profesi audit, beralih dari metode tradisional yang sering kali reaktif dan padat karya menjadi solusi otomatis yang proaktif yang meningkatkan kualitas dan efisiensi audit secara keseluruhan. Seiring dengan semakin banyaknya organisasi yang menggunakan perangkat digital ini, sangat penting bagi para auditor untuk mengembangkan pemahaman yang komprehensif tentang implikasinya dan menyesuaikan praktik mereka. Masa depan audit terletak pada kemampuan untuk memanfaatkan teknologi ini untuk menciptakan sistem pelaporan keuangan yang lebih andal, efisien, dan transparan.

Keterbatasan dalam penelitian ini adalah dengan hanya menggunakan *scoping review* dan data dari penelitian terdahulu. Rekomendasi dari penelitian ini untuk Perusahaan, auditor dan peneliti berikutnya adalah untuk mempelajari bagaimana digitalisasi proses audit internal dapat meningkatkan tata kelola perusahaan. Selain itu, penting untuk meneliti apakah digitalisasi sistem pengendalian internal akan meningkatkan peran komite audit sebagai mekanisme tata kelola dan membatasi perilaku oportunistik para manajer. Di bidang audit juga menarik untuk mempelajari dampak digitalisasi terhadap perusahaan audit kecil yang tidak memiliki sumber daya seperti perusahaan besar untuk menyesuaikan teknologi dan mengembangkan penawaran.

REFERENSI

Abdennadher, S., Grassa, R., Abdulla, H., & Alfalasi, A. (2022). The effects of blockchain technology on the accounting and assurance profession in the UAE: an exploratory study. *Journal of Financial Reporting and Accounting*, *20*(1), 53–71. https://doi.org/10.1108/JFRA-05-2020-0151

Adeoye, I. O., Akintoye, R. I., Theophilus, A. A., & Olagunju, O. A. (2023). Artificial intelligence and audit quality: Implications for practicing accountants. *Asian Economic and Financial Review*, *13*(11). https://doi.org/10.55493/5002.v13i11.4861

Andon, P., Free, C., & Sivabalan, P. (2014). The legitimacy of new assurance providers: Making the cap fit. *Accounting, Organizations and Society*. https://doi.org/10.1016/j.aos.2014.01.005

Anis, A. (2023). Blockchain in accounting and auditing: unveiling challenges and unleashing opportunities for digital transformation in Egypt. *Journal of Humanities and Applied Social Sciences*, *5*(4). https://doi.org/10.1108/jhass-06-2023-0072

Atik, A., & Kelten, G. (2021). Blockchain Technology and Its Potential Effects on Accounting: A Systematic Literature Review. *Istanbul Business Research*, *0*(0). https://doi.org/10.26650/ibr.2021.51.806870

Bhavani, G., & Amponsah, C. T. (2017). M-SCORE AND Z-SCORE FOR DETECTION OF ACCOUNTING FRAUD. *Accountancy Business and the Public Interest*.

Chassignol, M., Khoroshavin, A., Klimova, A., & Bilyatdinova, A. (2018). Artificial Intelligence trends in education: A narrative overview. *Procedia Computer Science*. https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.233

Chen, L., Lin, M., & Chen, L. (2023). Research on the Impact of Artificial Intelligence on the Development of the Accounting Industry. *Frontiers in Business, Economics and Management*, *11*(3). https://doi.org/10.54097/fbem.v11i3.13328

Choi, J. H., & Gipper, B. (2024). Fraudulent financial reporting and the consequences for employees. *Journal of Accounting and Economics*. https://doi.org/10.1016/j.jacceco.2024.101673

Chukwuani, Nnenna, V., Egiyi, & Amaka, M. (2020). Automation of Accounting Processes: Impact of Artificial Intelligence. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*.

Chukwudi, O., Echefu, S., Boniface, U., & Victoria, C. (2018). Effect of Artificial Intelligence on the Performance of Accounting Operations among Accounting Firms in South East Nigeria. *Asian Journal of Economics, Business and Accounting*. https://doi.org/10.9734/ajeba/2018/41641

Dengler, K., & Matthes, B. (2018). The impacts of digital transformation on the labour market: Substitution potentials of occupations in Germany. *Technological Forecasting and Social Change*. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.09.024

Desplebin, O., Lux, G., & Petit, N. (2021). To Be or Not to Be: Blockchain and the Future of Accounting and Auditing*. *Accounting Perspectives*, *20*(4). https://doi.org/10.1111/1911-3838.12265

DUMITRU, C. (2016). the Digital Revolution and Job Polarisation: an Institutional, Economic, and Social Issue. In *Internal Auditing & Risk Management*.

Fang, B., Liu, X., Ma, C., & Zhuo, Y. (2023). Blockchain technology adoption and accounting information quality. *Accounting and Finance*, *63*(4). https://doi.org/10.1111/acfi.13088

Hasan, A. R. (2022). Artificial Intelligence (AI) in Accounting & Auditing: A Literature Review. *Open Journal of Business and Management*. https://doi.org/10.4236/ojbm.2022.101026

Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*. https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90026-X

Kaplan, A., & Haenlein, M. (2019). Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. In *Business Horizons*. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.004

Kokina, J., & Davenport, T. H. (2017). The emergence of artificial intelligence: How automation is changing auditing. *Journal of Emerging Technologies in Accounting*. https://doi.org/10.2308/jeta-51730

Kravchenko, O., Nebaba, N., & O. Aiyedogbon, J. (2023). Blockchain technologies in accounting: bibliometric analysis. *Accounting and Financial Control*, *4*(1). https://doi.org/10.21511/afc.04(1).2023.02

Li, A., Luo, S., & Liu, Z. (2024). Disruptive technology identification research based on one-class SVM: a case study in the field of gene editing. *Procedia Computer Science*.

Luo, Y., Xu, M., Huang, K., Wang, D., & Fu, S. (2018). Efficient auditing for shared data in the cloud with secure user revocation and computations outsourcing. *Computers and Security*. https://doi.org/10.1016/j.cose.2017.12.004

Manita, R., Elommal, N., Baudier, P., & Hikkerova, L. (2020). The digital transformation of external audit and its impact on corporate governance. *Technological Forecasting and Social Change*. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119751

Moffitt, K. C., Rozario, A. M., & Vasarhelyi, M. A. (2018). Robotic process automation for auditing. In *Journal of Emerging Technologies in Accounting*. https://doi.org/10.2308/jeta-10589

Noordin, N. A., Hussainey, K., & Hayek, A. F. (2022). The Use of Artificial Intelligence and Audit Quality: An Analysis from the Perspectives of External Auditors in the UAE. *Journal of Risk and Financial Management*. https://doi.org/10.3390/jrfm15080339

Otike, F., Barát, Á. H., & Kiszl, P. (2022). Innovation strategies in academic libraries using business entrepreneurial theories: Analysis of competing values framework and disruptive innovation theory. *Journal of Academic Librarianship*, *48*(4).

https://doi.org/10.1016/j.acalib.2022.102537

Secinaro, S., Dal Mas, F., Brescia, V., & Calandra, D. (2021). Blockchain in the accounting, auditing and accountability fields: a bibliometric and coding analysis. *Accounting, Auditing and Accountability Journal*, *35*(9). https://doi.org/10.1108/AAAJ-10-2020-4987

Sheela, S., Alsmady, A. A., Tanaraj, K., & Izani, I. (2023). Navigating the Future: Blockchain's Impact on Accounting and Auditing Practices. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 24). https://doi.org/10.3390/su152416887

Tandiono, R. (2023). The Impact of Artificial Intelligence on Accounting Education: A Review of Literature. *E3S Web of Conferences*, *426*. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342602016

Zhang, Y., Xiong, F., Xie, Y., Fan, X., & Gu, H. (2020). The Impact of Artificial Intelligence and Blockchain on the Accounting Profession. *IEEE Access*, *8*. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3000505