

Peranan Kalibrasi Pada Alat Ukur : *Literature Review*

Lintang Pramudya¹, I Nyoman Satya Kumara², Yoga Divayana³

[Submission: 27-01-2024, Accepted: 19-03-2024]

Abstract—Calibration now has an important role in determining the operational suitability of measuring instruments in various fields. Currently, equipment, especially measuring instruments for public and public facilities, has not yet been properly calibrated according to existing regulations. Calibration is carried out to ensure data validity Which produced from measuring instrument. Calibration acts as a process to ensure the accuracy, precision, and reliability of measuring instruments. This article investigates several literatures related to the role of calibration in improving the quality of measuring instruments based on calibration methods that can be used according to the urgency. The results of assessing the operational feasibility of equipment or measuring instruments are determined through a calibration process. Apart from that, calibration can be carried out using several methods such as the single point calibration method, multi point calibration method, and reference instrument calibration method. Reviews based on useful calibration literature in the fields of health, environment, technology, maritime and aviation. Implementing appropriate and documented calibration is important in supporting valid data on medical devices, scientific research, traceability of sensors from a new system, guaranteeing data reliability, and providing reliable services, as well as having a positive impact on various aspects of life and technological development.

Keywords—Benefits of calibration ; Calibration ; Calibration method; Measuring instrument ; Traceability

Intisari— Kalibrasi saat ini sudah memiliki peran penting dalam menentukan kelaikan operasional alat ukur di berbagai bidang. Saat ini peralatan terlebih pada alat ukur untuk fasilitas umum dan publik belum sepenuhnya dilakukan kalibrasi berkala sesuai ketentuan yang ada. Kalibrasi dilakukan untuk menjamin kevalidan data yang dihasilkan dari alat ukur. Kalibrasi bertindak sebagai sebuah proses untuk memastikan akurasi, presisi, dan kehandalan alat ukur. Artikel ini menyelidiki beberapa *literature* terkait peran kalibrasi dalam meningkatkan kualitas alat ukur berdasarkan metode kalibrasi yang dapat digunakan sesuai dengan urgensinya. Hasil dari penilaian laik operasional peralatan atau alat ukur ditentukan melalui proses kalibrasi. Selain itu cara pelaksanaan kalibrasi dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti metode kalibrasi *single point*, metode kalibrasi *multi point*, dan metode kalibrasi instrumen referensi. Telaah berdasarkan *literature* kalibrasi bermanfaat di bidang kesehatan, lingkungan, teknologi, maritim, dan penerbangan. Penerapan kalibrasi yang sesuai dan terdokumentasi menjadi hal penting dalam mendukung data yang valid pada alat medis, penelitian ilmiah, ketertelusuran sensor dari suatu sistem baru, jaminan kehandalan data, dan penyediaan

layanan yang dapat diandalkan, serta membawa dampak positif terhadap berbagai aspek kehidupan dan perkembangan teknologi.

Kata Kunci— Alat ukur ; Kalibrasi ; Ketertelusuran ; Manfaat kalibrasi ; Metode kalibrasi ;

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di berbagai bidang khususnya bidang ilmiah dan industri saat ini perlu didukung oleh adanya alat ukur yang berkualitas. Tingkat akurasi alat ukur menjadi tolak ukur kualitas dari alat ukur tersebut. Salah satu syarat agar nilai keluaran alat ukur dikatakan akurat sesuai standar perlunya dilakukan pengukuran besaran fisis yang berupa kalibrasi sensor [1]. Kalibrasi pada peralatan adalah proses pengukuran alat ukur sehingga menghasilkan data akurat dapat diandalkan sesuai standar yang telah ditetapkan. Kalibrasi bermanfaat bagi bahan ukur dan instrumen alat ukur agar tetap sesuai dengan spesifikasi sensor alat ukur tersebut [2].

Pentingnya kalibrasi dalam aspek keakuratan perlu diterapkan dalam berbagai sektor seperti laboratorium penelitian, kesehatan, penerbangan, maritim, dan teknologi yang mengharuskan penggunaan alat ukur yang terkalibrasi sesuai dengan standar yang tertelusur. Keandalan alat ukur juga penting dalam menjaga keamanan dan kesehatan dalam lingkungan kerja. Kalibrasi dalam pelayanan publik dapat meningkatkan kepercayaan dari pelanggan. Alat ukur medis yang digunakan dalam bidang kesehatan wajib dilakukan kalibrasi untuk mendukung terjaminnya ketersediaan alat ukur medis bidang kesehatan sesuai standar layanan masyarakat, persyaratan mutu, keamanan, manfaat, keselamatan, dan laik pakai [3]. Kalibrasi secara periodik juga dilakukan pada alat pendukung medis seperti penggunaan alat ukur proteksi radiasi, kalibrasi tersebut dilakukan oleh instansi yang berwenang [4]. Kalibrasi pada alat pemantau kualitas udara [5] dilakukan untuk menjamin akurasi pengukuran dan kepercayaan data yang dihasilkan alat ukur tersebut.

Dengan melakukan kalibrasi secara berkala, organisasi dapat memastikan bahwa peralatan mereka tetap dalam kondisi yang optimal, memberikan hasil yang konsisten, dan memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Ini menjadi penting dalam berbagai industri untuk memastikan keberlanjutan operasional dan integritas data pengukuran.

Tujuan dari *literature review* terhadap pentingnya kalibrasi alat ukur yaitu untuk memahami persyaratan standar di berbagai bidang seperti kesehatan, lingkungan, penerbangan, teknologi, dan maritim. Pemenuhan kebutuhan kalibrasi dapat dilakukan dengan analisa inovasi metode kalibrasi yang digunakan di berbagai bidang mencakup penggunaan teknologi terbaru maupun pendekatan yang lebih efisien dan efektif .

II. STUDI PUSTAKA

¹Mahasiswa, Magister Teknik Elektro Universitas Udayana, Gedung Pacasarjana Universitas Udayana Jl. PB Sudirman Denpasar-Bali, Kode Pos : 80323 (tlp: 0361-555225 ; e-mail: 2381711014.pramudya@student.unud.ac.id)

^{2, 3}Dosen, Magister Teknik Elektro Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361(telp: 0361-703315 ; e-mail: satya.kumara@unud.ac.id ; yoga@unud.ac.id)



Pemahaman yang mendalam tentang topik ini memerlukan analisis komprehensif terhadap literatur yang relevan. Bab ini merinci penelitian-penelitian terkini yang menjadi dasar pemikiran dan perbandingan dalam penelitian ini.

A. Kalibrasi

Sebuah kegiatan yang menjamin nilai terukur suatu alat ukur akurat, dapat diandalkan, dan dapat dipertanggungjawabkan biasa disebut dengan kalibrasi [9]. Akurasi merupakan faktor penting dalam proses pengukuran [19]. Dalam kalibrasi perlu adanya proses validasi antara nilai yang tertera pada alat ukur [7] dengan nilai riil alat ukur tersebut [4]. Hal ini dapat dilakukan dengan cara membandingkannya dengan standar pengukuran yang dapat ditelusuri ke standar nasional dan satuan pengukuran internasional dengan referensi yang bersertifikat [4].

Tujuan dari pengujian dan kalibrasi yaitu sebagai berikut : memastikan bahan ukur atau instrumen ukur sesuai dengan spesifikasinya, menentukan deviasi nilai dari besaran ukur atau deviasi dimensi nominal riil untuk suatu bahan ukur, dan memastikan hasil pengukuran dari alat ukur memenuhi standar nasional dan internasional. Manfaat pengujian dan kalibrasi adalah kondisi alat ukur dan bahan ukur tetap terjaga sesuai dengan spesifikasi yang dimiliki alat ukur [7].

Kalibrasi merupakan suatu cara untuk mengidentifikasi dan mengukur keakuratan suatu alat ukur dengan cara membandingkan alat ukur tersebut dengan alat standar. Tujuannya adalah untuk mendemonstrasikan kegunaan alat tersebut. Suatu alat dianggap baik apabila hasil pengukuran kalibrasinya menunjukkan hasil yang sesuai dengan Standar Internasional (SI) [5]. Kalibrasi menjamin kebenaran pembacaan alat ukur konvensional dan bahan ukur dengan membandingkannya dengan instrumen standar yang dapat ditelusuri ke standar internasional [20]. Perangkat elektronik seperti sensor, juga perlu dikalibrasi secara teratur. Proses kalibrasi melibatkan perbandingan hasil pengukuran perangkat yang akan dikalibrasi dengan perangkat referensi yang sudah diketahui akurasinya. Jika terdapat perbedaan, maka dilakukan penyesuaian pada perangkat maupun alat ukur yang akan dikalibrasi.

Metode kalibrasi yang digunakan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) ada dua jenis yaitu metode kalibrasi yang dilakukan di laboratorium dan metode yang dilakukan diluar laboratorium atau disebut kalibrasi lapang. Kalibrasi lapang menggunakan kalibrator *portabel* [9]. Kalibrasi yang dilakukan pada alat ukur kesehatan untuk memeriksa dan menyesuaikan alat tersebut ke ukuran, skala atau parameter yang diketahui secara andal [17] dan untuk memeriksa sifat fisik dan fungsional alat kesehatan yang digunakan [15]. Dalam menentukan komposisi pengukuran sebuah sistem, sensor dalam sistem tersebut dikalibrasi terlebih dahulu [19].

B. Metode Kalibrasi *Single Point*

Metode kalibrasi ini menggunakan satu titik nilai yang ditentukan dalam proses kalibrasi, hal ini dikarenakan *unit under calibration* maupun sensor tidak mudah lepas dari *enclosure* [41]. Salah satu cara kalibrasi dengan metode ini adalah dengan melakukan pengambilan nilai pembacaan pada

sebuah alat ukur lain yang dijadikan sebagai standar acuan pengukuran. Metode ini dapat mendukung biaya kalibrasi yang lebih mudah dan terjangkau. Metode ini umumnya digunakan ketika instrumen pengukuran dianggap stabil dan hanya memerlukan penyesuaian pada satu titik tertentu. Metode kalibrasi *single point* umumnya digunakan pada instrumen yang memiliki karakteristik linier dan stabilitas yang baik di sepanjang rentang pengukurannya.

C. Metode Kalibrasi *Multi Point*

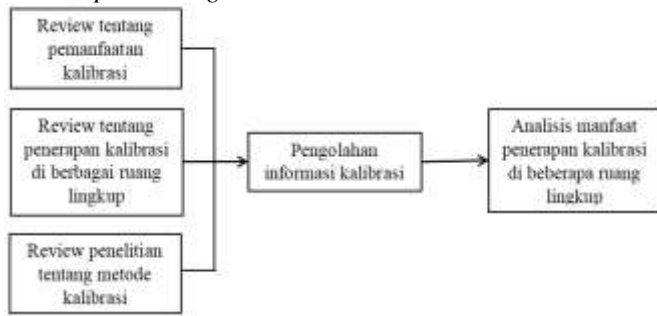
Metode kalibrasi ini menggunakan beberapa titik nilai yang digunakan dalam proses kalibrasi. Titik referensi ditentukan sesuai rentang operasional dari sensor. Kalibrasi bertujuan untuk memastikan bahwa pengukuran atau output dari suatu alat ukur sesuai dengan standar atau nilai yang diketahui.

D. Metode Kalibrasi Instrumen Referensi

Metode kalibrasi ini menggunakan instrumen referensi yang memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan telah dikalibrasi sebelumnya. Kalibrasi dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa instrumen kalibrasi tersebut memberikan hasil yang akurat, konsisten, dan tertelusur ke standar yang lebih tinggi. Berdasarkan ISO/IEC 17025:2017 tentang persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan laboratorium kalibrasi bahwa instrumen referensi atau alat standar dilakukan kalibrasi secara berkala agar rantai kalibrasi tidak terputus [42].

III. METODOLOGI

Tinjauan dilakukan terhadap penelitian yang membahas tentang penerapan kalibrasi dari berbagai bidang. Penilaian dilakukan untuk mengukur kelaikan operasional alat ukur berdasarkan presisi dan akurasi data yang dihasilkan. Menjamin kualitas produk yang dihasilkan yaitu data. Menjamin ketertelusuran dari peralatan yang digunakan sehingga adanya konsistensi dari peralatan. *Literature review* ini menggunakan data maupun artikel jurnal, publikasi ilmiah, dan *conference* yang diambil dari mesin pencari seperti *Google Scholar*, *ResearchGate*, dan *Scencedirect*. Skematik penelitian yang dilakukan seperti pada Gambar 1. Artikel jurnal dengan topik penelitian terkait kalibrasi yang terkumpul dilakukan *review* berdasarkan manfaatnya dan dilakukan pengelompokan berdasarkan manfaatnya pada bidang keilmuan tertentu. Artikel jurnal terkait kalibrasi juga dikelompokkan berdasarkan penerapannya di beberapa ruang lingkup yang ada. Artikel jurnal juga dilakukan *review* dan pengelompokan berdasarkan metode kalibrasi alat ukur yang digunakan dalam proses penelitiannya. Informasi yang telah didapatkan dari hasil *review*, kemudian dilakukan pengelompokan dengan tabel. Tabel tersebut menjadi acuan dalam melakukan analisis manfaat penerapan kalibrasi di beberapa ruang lingkup.



Gambar 1. Skematik Penelitian

A. Review Pemanfaat Kalibrasi

Kalibrasi banyak digunakan di berbagai bidang kesehatan, penerbangan, dan lingkungan. *Review* kalibrasi pada bidang kesehatan yaitu dengan mencari pemanfaat kalibrasi yang dilakukan pada peralatan operasional di rumah sakit maupun puskesmas. *Review* kalibrasi pada bidang lingkungan yaitu dengan mencari pemanfaat kalibrasi pada peralatan *monitoring* kualitas udara pada daerah perkotaan dan pedesaan, review manfaat kalibrasi data hidrologi untuk perencanaan berbagai infrastruktur bangunan air, pengelolaan sumber daya air, maupun pemenuhan kebutuhan data untuk studi hidrologi [10]. *Review* kalibrasi pada bidang penerbangan yaitu mencari pemanfaat kalibrasi pada peralatan operasional yang menghasilkan data untuk mendukung layanan operasional penerbangan, parameter terkait dengan penerbangan yaitu tekanan. *Review* kalibrasi pada bidang maritim yaitu mencari pemanfaatan kalibrasi pada peralatan operasional yang menghasilkan data untuk operasional pelayaran. *Review* kalibrasi pada bidang teknologi yaitu mencari manfaat penerapan kalibrasi pada sebuah sistem yang selesai dibuat maupun pada sensor yang mendukung sistem tersebut.

B. Review Pemanfaat Kalibrasi Pada Berbagai Ruang Lingkup

Pada tahap ini mencari informasi terkait manfaat kalibrasi dari beberapa ruang lingkup yang ada yaitu suhu udara, kelembapan, kualitas udara, dan tekanan udara, angin, curah hujan, waktu, *levelling* air laut, radiasi, gas, kekeruhan air, partikel udara, kelembapan tanah, dan frekuensi.

C. Review Metode Kalibrasi

Pada tahap ini mengelompokan *literature* berdasarkan metode kalibrasi yang digunakan. Kalibrasi dapat dilakukan dengan beberapa metode, metode kalibrasi *single point*, metode kalibrasi *multi point*, dan metode kalibrasi instrumen referensi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan survei *literature* yang telah dilakukan ditemukan 40 artikel jurnal nasional dan internasional yang membahas tentang penerapan kalibrasi alat ukur. Detil telaah dari setiap artikel jurnal akan dijelaskan pada bab ini.

Lintang Pramudya : Metode dan Manfaat Kalibrasi ...

A. Penerapan Pelaksanaan Kalibrasi

Pelaksanaan kalibrasi berdasarkan penelitian yang ditelaah dapat dilihat pada Tabel 1, terdapat lima bidang secara umum yaitu bidang kesehatan, bidang lingkungan, bidang penerbangan, bidang teknologi, dan bidang maritim. Bidang kesehatan mencakup alat ukur medis yang digunakan di puskesmas maupun rumah sakit. Bidang lingkungan terbagi menjadi dua yaitu kualitas udara yang merupakan pembahasan alat ukur atau sensor indikator kualitas udara di lingkungan, sedangkan hidrologi terkait dengan kualitas air di lingkungan. Bidang penerbangan dibahas alat ukur yang menghasilkan data tekanan udara yang dibutuhkan dalam penerbangan. Bidang teknologi merupakan penelitian terkait perancangan sistem alat ukur. Bidang maritim terdapat penelitian yang membahas alat ukur kecepatan angin yang datanya digunakan untuk pelayaran.

Tabel 1. Bidang Penelitian

Bidang		Penelitian
Kesehatan	Alat Medis	Akurasi alat di Puskesmas [1], akurasi ECG [2], akurasi alat medis [3], akurasi Dosimeter [4], akurasi peralatan elektromedik [13], akurasi Fototerapi [15], akurasi alat medis di Puskesmas [17], akurasi Dosimeter [18], akurasi alat ukur medis [31], dan akurasi ECG [35]
Lingkungan	Kualitas Udara	Akurasi sensor CO, NO, dan CO ₂ [5], akurasi sensor CO dan CO ₂ [21], akurasi sensor PM [22], akurasi sensor CO ₂ [25], akurasi sensor PM 2.5 [26], akurasi sensor CO dan CO ₂ [27], akurasi Termohyrometer dan pyranometer [29], akurasi sensor O ₃ , NO ₂ , CO, dan SO ₂ [32], akurasi termometer [33], akurasi sensor CO, NO ₂ , dan O ₃ [34], akurasi sensor O ₃ dan NO ₂ [37], dan akurasi sensor PM [39]
	Hidrologi	Akurasi data hujan TRMM [10], akurasi sensor akustik [12], akurasi Turbudimeter [20]
Penerbangan	Tekanan Udara	Akurasi Barometer [11], Akurasi sensor BMP280 dan BME280 [16]
Teknologi	Alat Ukur	Akurasi Termokopel [6], akurasi kalibrator curah hujan [9], akurasi sensor SMD22 [19], akurasi Wind Radar [23], akurasi alat ukur di stasiun cuaca [24], akurasi Termometer [28], akurasi Termometer [29], akurasi Barometer [30], akurasi ECG [35], akurasi Hygrometer tanah [36], akurasi Termohyrometer [38], akurasi Termohyrometer [40]
Maritim	Anemometer	Akurasi Anemometer [14]

Penelitian pentingnya pelaksanaan kalibrasi peralatan pada bidang kesehatan telah dilakukan oleh penelitian alat medis [3], [4], [7], [17], [31], penelitian alat ukur jantung [2], [35], penelitian alat ukur radiasi [7], [18], penelitian fototerapi [15]. Penelitian [3], [7], [17], dan [31] ini melakukan sosialisasi terkait pentingnya kalibrasi peralatan medis yang berada di lingkungan Puskesmas sesuai peraturan wajib dilaksanakan berkala sebelum lewat satu tahun. Pada penelitian [17] kalibrasi

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372



dilakukan pada peralatan yang berada di Puskesmas Barabai untuk mendukung terpeenuhinya persyaratan standar mutu, keselamatan, dan keamanan pasien. Fasilitas kesehatan yang berada di Puskesmas meliputi peralatan diagnosa, terapi, rehabilitasi, dan penelitian wajib dilakukan kalibrasi berkala oleh instansi yang berwenang atasnya. Pada penelitian [31] kalibrasi dilakukan sebagai upaya Puskesmas untuk meningkatkan mutu pelayanan melalui penyediaan sarana, prasarana, dan sumber daya manusia. Hasil kalibrasi alat ukur medis di Puskesmas yang berjumlah 29 peralatan tujuannya memastikan alat ukur selalu konsisten dan akurat saat digunakan.

Pada penelitian [2] dan [35] kalibrasi peralatan medis dilakukan pada alat kesehatan yaitu kalibrasi *Electrocardiograph* (ECG). Dalam [2] kalibrasi ECG dilakukan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukan alat ukur tersebut. Dalam [35] kalibrasi ECG merupakan upaya menentukan ketertelusuran tertulis pengukuran alat medis yang merupakan salah satu fasilitas kesehatan. Pada penelitian [13] kalibrasi dikategorikan sebagai tindakan preventif dalam pemeliharaan peralatan elektromedik di Puskesmas Kebayoran Lama, didapatkan kalibrasi mampu meningkatkan kualitas layanan dengan cara penjaminan mutu dari peralatan yang digunakan. Pada penelitian [4] dan [18] dilakukan kalibrasi pada alat ukur radiasi yaitu dosimeter, dengan tujuan untuk memastikan kesesuaian karakteristik dengan spesifikasi dari suatu bahan ukur atau alat, serta menjamin keakuratan nilai yang dihasilkan oleh suatu alat sehingga tidak menyimpang dari ambang batas yang ditentukan. Pada penelitian [15] kalibrasi dilakukan pada fototerapi yang merupakan alat ukur penghangat bayi prematur dan bayi kuning, kalibrasi bertujuan untuk menilai kelayakan mutu dan kualitas alat fototerapi merk GEA Type XHZ-90. Dari hasil kalibrasi dan telaah teknis pengukuran mendapat bobot 96%, pada hal ini dikatakan fototerapi berfungsi dengan baik dan masih berada dalam batas toleransi yang diperbolehkan serta masih laik operasional digunakan dalam pelayanan kesehatan.

Manfaat kalibrasi dalam penelitian perancangan sebuah sistem dilakukan pada berbagai alat ukur yang sudah selesai dirancang untuk menjamin kevalidan data, akurasi sensor, dan *reliable* sensor. Penelitian yang membahas kalibrasi pada hasil perancangan sistem yaitu penelitian Termometer fluida [6], penelitian alat kalibrator curah hujan [9], penelitian alat ukur suhu dan kelembapan [19], [38], [40], penelitian alat deteksi angin [23], penelitian sensor *Automatic Weather Station* (AWS) [24], penelitian Termometer [29], penelitian alat ukur tekanan [30], penelitian alat ukur suhu dan kelembapan tanah [36]. Pada penelitian [6] kalibrasi dilakukan pada alat ukur suhu untuk fluida yaitu termokopel, dilakukan kalibrasi pada 5 *set point* yaitu 6°C, 10°C, 15°C, 20°C, dan 25°C. *Set point* tersebut ditentukan berdasarkan rentang terkecil hingga terbesar spesifikasi suhu pengoperasiannya. Pada [9] dilakukan kalibrasi pada peralatan kalibrator *portable* penakar curah hujan yang bertujuan mempermudah teknisi dalam melakukan penghitungan nilai koreksi dan ketidakpastian tipping bucket. Pada penelitian [19] kalibrasi dilakukan pada alat ukur suhu dan kelembapan sensor SMD22 untuk mengetahui keakuratan sensor, sehingga layak digunakan di dalam kereta rel diesel elektrik. Pada penelitian [23] melakukan kalibrasi pada *Wind Radar* (*WindRAD*) *scatterometer winds* yang merupakan

instrument scatterometer yang berputar pada frekuensi ganda di satelit meteorologi FY-3 Tiongkok, kalibrasi dilakukan untuk mengetahui dan untuk menegaskan kegunaan *higher-order calibration* (HOC) dalam kasus anomali penguatan instrumen non-linier. Pada penelitian yang dilakukan [24] kalibrasi dilakukan pada *Wireless Sensor Network Based Weatherboards* yang terdapat sensor suhu, kelembapan, dan tekanan udara dengan pengambilan data di Kenya. Kalibrasi dilakukan pada alat ukur tersebut untuk memastikan jaminan data dapat dipergunakan untuk operasional dan pertukaran data internasional. Selain itu kalibrasi juga melampirkan bias setiap sensor, kesalahan acak, dan jangkauan aplikasi. Dalam [29] penelitian dilakukan di beberapa Prefektur di Tokyo dengan menggunakan sensor suhu berbiaya rendah, kalibrasi dilakukan untuk meninjau keakuratan sensor tersebut dengan adanya pengaruh lingkungan seperti dari radiasi matahari, suhu dan kelembapan dari lingkungan sekitar. Banyaknya produksi industri di China berdampak pada meningkatnya alat ukur suhu udara yang merupakan salah satu indikator kualitas udara, sehingga pada penelitian [33] sensor suhu udara yang terpasang dilakukan kalibrasi untuk validasi akurasi sensor dan akurasi data. Hal tersebut tentu diperlukan karena berdampak pada proses dan hasil produksi di China. Penelitian [30] melakukan kalibrasi pada alat ukur tekanan yang dilakukan oleh SNSU-BSN, hasil kalibrasi menunjukkan kesesuaian antara piston silinder 978 dengan piston silinder 1054. Selanjutnya standar *Dead Weight Tester* (DWT) Penumatik memiliki konsistensi diketahui dari hasil kalibrasi, sehingga alat tersebut dapat digunakan untuk diseminasi satuan tekanan dengan tingkat kesesuaian yang tinggi. Pada penelitian [36] dilakukan perancangan sistem pemantauan kelembapan tanah otomatis menggunakan sensor berbiaya rendah. Fungsi kalibrasi spesifik tanah yang dikembangkan untuk tanah berkebumen menunjukkan hasil yang memuaskan selama prosedur validasi sensor untuk prediksi kandungan air tanah. Penelitian [38] membahas tentang sistem kalibrasi suhu dan kelembapan relatif berakurasi tinggi. Ketidakpastian kalibrasi bergantung pada pemeliharaan suhu dan kelembapan relatif dalam toleransi tertentu. Penyimpangan di luar batas dapat menyebabkan ketidakpastian yang besar dan mendiskualifikasi pekerjaan kalibrasi. Pada [40] penelitian dilakukan mengukur kinerja dari sensor suhu dan kelembapan yaitu DHT22, BME280, SHT31 dan DS18B20, kalibrasi dilakukan pada sensor tersebut untuk mengetahui performa dari masing-masing sensor.

Manfaat kalibrasi di bidang lingkungan khususnya kualitas udara dilakukan pada penelitian alat ukur sensor CO, NO, dan CO₂ [5], penelitian alat ukur sensor CO dan CO₂ [21], [27], penelitian alat ukur sensor PM [22], [26], [39], alat ukur sensor CO₂ [25], alat ukur suhu, kelembapan, dan radiasi matahari [29], alat ukur sensor O₃, NO₂, CO, dan SO₂ [32], alat ukur sensor suhu udara dan PM [33], alat ukur sensor CO, NO₂, dan O₃ [34], dan alat ukur sensor O₃ dan NO₂ [37]. Pada penelitian [5] kalibrasi pada alat ukur kualitas udara berdasarkan kandungan CO, NO, dan CO₂ di wilayah Eropa pada daerah terpencil. Pada penelitian [21] dan [27] mengukur kandungan gas CO dan CO₂ di lingkungan sekitar. Pada penelitian [21] lingkungan pengujian di area rumah sakit dan penelitian [27] dilakukan di pusat administrasi kota Semarang. Kalibrasi [21] dilakukan pada kedua sensor untuk mengetahui akurasi dari sensor, berdasarkan hasil kalibrasi didapatkan sensor CO₂ memiliki

akurasi yang rendah dibanding dengan sensor CO. Dalam proses kalibrasi penelitian [27] sensor perlu dikalibrasi agar keluaran sensor gas dapat dikonversi kedalam bentuk ppm. Kalibrasi dilakukan untuk menilai tingkat keakuratan sensor dengan cara membandingkan dengan alat ukur yang terstandarisasi. Pada penelitian [25] kalibrasi pada alat ukur kualitas udara berdasarkan kandungan CO₂ di 5 wilayah Zurich Swiss dengan 18 sensor. Kalibrasi alat ukur ini menunjukkan keterkaitan antara sensor terhadap CO₂, suhu, dan kelembapan. Kalibrasi pada sensor berbiaya rendah bertujuan untuk memastikan keakuratan sensor dan kualitas data dari alat ukur pada jaringan *Carbonsense*. Dalam penelitian [32] kalibrasi dilakukan pada sensor kualitas udara berdasarkan kandungan O₃, NO₂, CO, dan SO₂ sensor yang digunakan berbiaya rendah, sehingga dengan dikalibrasi bertujuan untuk menjamin keakuratan data yang dihasilkan. Kalibrasi alat ukur kualitas udara pada penelitian [34] dilakukan pada sensor yang digunakan untuk mengukur kandungan CO, NO₂, dan O₃ serta mengukur suhu dan kelembapan di udara Kalibrasi dilakukan pada sensor berbiaya rendah yang digunakan dalam penelitian ini agar data yang dihasilkan dapat dipercaya dan akurat. Dalam penelitian [37] dilakukan pengukuran kualitas udara berdasarkan kandungan O₃ dan NO₂ menggunakan sensor berbiaya rendah. Kalibrasi lapang dilakukan dalam pengambilan datanya, kalibrasi sensor ini bertujuan untuk mengetahui tingkat sensitivitas dan stabilitasnya. Berdasarkan hasil kalibrasi menunjukkan bahwa sensor yang identik cenderung bekerja dengan cara yang serupa meskipun terdapat beberapa perbedaan yang dapat diamat.

Pada penelitian [22] kalibrasi dilakukan pada *Particulate Matter* (PM) yang biasa digunakan untuk memantau adanya polusi udara yang berupa partikel padat diudara seperti debu, asap, serbuk, dan partikel kecil lainnya. Kalibrasi dilakukan pada 40 sensor PM berbiaya rendah yang dipasang tersebar di Seoul sangat diperlukan untuk penginderaan dengan akurasi tinggi. Pada penelitian [26] dilakukan kalibrasi pada sensor PM 2.5 untuk monitoring kualitas udara di kota Temuco Chili yang berjumlah 21 titik pengukuran menggunakan sensor berbiaya rendah sensor dilengkapi sensor suhu dan kelembapan. Kalibrasi dilakukan pada sensor berbiaya rendah ini untuk menjamin sensor menghasilkan data yang akurat dan handal. Penelitian [39] membahas tentang penggunaan sensor PM berbiaya rendah untuk pengukuran polutan dan metode kalibrasi sensor yang digunakan. Proses kalibrasi sensor bertujuan untuk mengevaluasi sensor agar sesuai standar dan datanya terdokumentasikan dengan baik.

Manfaat kalibrasi di bidang hidrologi pada penelitian [10] dilakukan untuk validasi data hujan *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Bango berdasarkan kalibrasi terhadap data hujan *ground station* di lapangan, sebelum dilakukan alihragam menjadi debit model. Kalibrasi pada penelitian [12] dilakukan untuk mendukung kevalidan data yang dihasilkan alat ukur pada sistem pengukur tinggi muka air laut menggunakan sensor Lintang Pramudya : Metode dan Manfaat Kalibrasi ...

akustik. Sensor tersebut sebagai alat dukung rekonfirmasi bencana tsunami Selat Sunda, disisi lain nilai hasil dari kalibrasi *levelling* akan digunakan sebagai koreksi. Dalam hidrologi manfaat kalibrasi pada penelitian [20] dilakukan kalibrasi pada Turbudimeter yang merupakan alat ukur taraf kekeruhan air, kalibrasi dilakukan untuk menentukan keabsahan konvensional nilai pembacaan.

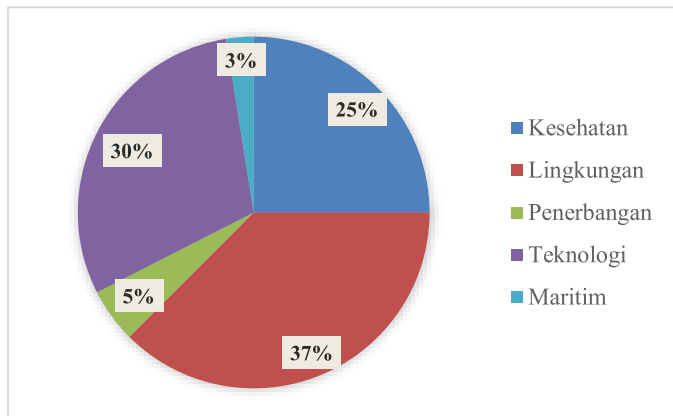
Manfaat kalibrasi di bidang penerbangan dilakukan pada penelitian [11] khususnya parameter tekanan udara yang peran penting dalam layanan meteorologi. Sensor kalibrasi tekanan udara dikalibrasi secara rutin karena jumlahnya yang semakin banyak, sehingga dilakukan kalibrasi *portable* dengan memanfaatkan pompa peristaltik, *solenoid valve*, dan mikrokomputer. Kalibrasi pada alat ukur tekanan berbiaya rendah yang dilakukan [16] bertujuan untuk mendapatkan nilai *Root Mean Square Error* (RSME) dari masing-masing sensor, sehingga dapat menentukan sensor mana yang lebih baik. Berdasarkan pengujian didapatkan hasil pengukuran menggunakan sensor BMP280 lebih akurat daripada hasil pengukuran BME280.

Kalibrasi pada bidang maritim dilakukan pada penelitian [14] dengan melakukan kalibrasi pada sensor *True Wind* untuk *Automatic Weather Station* (AWS) di Kapal, kalibrasi bertujuan untuk mengetahui nilai pembacaan nilai riil sensor dengan mengabaikan arah haluan kapal. Dalam hal ini data dari angin merupakan faktor untuk keselamatan pelayaran kapal.

Bidang penelitian yang dibahas tersebut persentasenya dapat dilihat pada Gambar 2. Bidang lingkungan menjadi bidang dengan persentase terbesar yang berarti banyak penelitian yang membahas tentang lingkungan yaitu sebesar 38% atau 15 penelitian. Bidang maritim menjadi bidang dengan persentase terkecil yaitu 2% atau 1 penelitian. Bidang teknologi 30% atau 12 penelitian yang membahas kalibrasi sistem yang dirancang. Bidang kesehatan 25% atau 10 penelitian yang membahas pentingnya kalibrasi alat medis. Bidang penerbangan 5% atau 2 penelitian yang membahas alat ukur tekanan udara untuk penerbangan. Bidang lingkungan yang sebagian besar terdiri dari ruang lingkup kualitas udara memiliki persentase terbesar karena memiliki dampak besar terhadap kesehatan manusia, lingkungan perkotaan, lingkungan pedesaan, dan masyarakat ada umumnya. Lingkungan dapat menjadi indikator penilaian berbagai kesehatan manusia. Pengaruh lingkungan juga cukup besar bagi tumbuhan dan hewan yang berdampak pada keseimbangan ekosistem. Adanya hal tersebut menjadi pendorong dilakukan penelitian terhadap kualitas lingkungan yaitu kualitas udara dan kualitas air. Pada kualitas udara di lingkungan kandungan berbagai macam partikel juga banyak sehingga berbagai macam variabel yang berpengaruh. Air menjadi salah satu sumber kehidupan manusia, maka dari itu beberapa penelitian membahas alat ukur terkait kualitas air. Adanya hal tersebut banyak penelitian yang membahas lingkungan yang diharapkan manusia dapat memahami isu ini, dan dapat melakukan tindakan pencegahan untuk kesehatan dan keberlanjutan lingkungan.

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372





Gambar 2. Persentase Bidang Penelitian

Metode kalibrasi dari hasil telaah penelitian dapat dilihat pada Tabel 2. Adapun metode kalibrasinya berjumlah tiga yaitu *single point*, *multi point*, dan instrumen referensi.

Tabel 2. Penggunaan Metode Kalibrasi

Metode Kalibrasi	Penelitian
<i>Single Point</i>	Kalibrator curah hujan [9], alat ukur suhu dan kelembapan [19]
<i>Multi Point</i>	Termometer [6], kalibrator curah hujan [9], alat ukur curah hujan [10], barometer [11], alat ukur tinggi muka air [12], sensor CO ₂ [25], termometer [28]
Instrumen Referensi	<i>Mini temperature humidity meter</i> [1], ECG [2], dosimeter [4], [18], alat ukur CO, NO, dan CO ₂ [5], termohyrometer [9], [38], [40], barometer [11], [16], [17], alat ukur tinggi muka air laut [12], anemometer [14], fototerapi [15], termometer [19],[24], [28], [29], [33], turbidimeter [20], alat ukur CO dan CO ₂ [21], alat ukur PM [22], [39], alat ukur CO ₂ [25], alat ukur PM 2.5 [26], alat ukur O ₃ , NO ₂ , CO, dan SO ₂ [32], alat ukur CO ₂ , O ₃ , dan NO ₂ [34], hygrometer tanah [36], alat ukur O ₃ dan NO ₂ [37].

Ruang lingkup dalam kalibrasi dari hasil telaah penelitian dapat dilihat pada Tabel 3. Ruang lingkup dikategorikan berdasarkan *input*, proses, dan *output* hasil kalibrasi. Berdasarkan hal tersebut terdapat 13 ruang lingkup penelitian yaitu suhu udara, kelembapan, tekanan udara, angin, curah hujan, waktu, *levelling* air laut, radiasi, gas, kekeruhan air, partiker udara, kelembapan tanah, dan frekuensi. Ada beberapa penelitian yang masuk lebih dari satu ruang lingkup hal ini dikarenakan ada beberapa sistem yang memang keluarannya lebih dari satu parameter.

B. Metode Kalibrasi *Single Point*

Pada ruang lingkup curah hujan penelitian [9] menggunakan metode kalibrasi *single point* pada *tipping bucket*. *Tipping bucket* merupakan salah satu bagian dari kalibrator portable penakar hujan kalibrasi lapang, pengujian dilakukan dengan *single point* pada *set point* 314 ml atau 10 mm dengan pengambilan jumlah data sebanyak 6 iterasi. Pada ruang lingkup suhu penelitian [19] dilakukan pengujian kalibrasi dengan metode kalibrasi *single point* pada sensor suhu dan kelembapan. Pada 10 alat yang diambil datanya dilakukan satu kali pengambilan data, *setpoint* ditentukan dari suhu dan

kelembapan normal di kereta. Masing-masing alat ukur memiliki *range* yang berbeda dalam melakukan pengukuran.

Tabel 3. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup	Penelitian
Suhu udara	[1],[6],[9],[15],[19],[24],[25],[28],[29],[33],[38],[40]
Kelembapan	[9],[15],[19],[24],[38],[40]
Tekanan udara	[11],[16],[17],[20],[24],[25],[29],[30]
Angin	[14],[23],[24]
Curah hujan	[9]
Waktu	[10]
<i>Levelling</i> air laut	[12]
Radiasi	[4],[15],[18],[24],[25]
Gas	[5],[21],[25],[27],[32],[34]
Kekeruhan air	[20]
Partikel Udara	[22],[26],[32],[34],[37],[39]
Kelembapan Tanah	[36]
Frekuensi	[35]

C. Metode Kalibrasi *Multi Point*

Pada ruang lingkup suhu udara penelitian [6] menggunakan metode kalibrasi *multi point*, pengambilan data menggunakan 5 titik *set point* langsung antara alat ukur termokopel dengan pengkondisi suhu menggunakan *themostaticbath*. Pada penelitian [28] dilakukan kalibrasi termometer gelas dengan menerapkan metode kalibrasi *multi point* dengan menggunakan empat *setpoint* yaitu 20°C, 25°C, 30°C, dan 35°C. Masing-masing *setpoint* 5 pengambilan data saat pengambilan data manual dan 5 pengambilan data dengan menggunakan kamera *Close Circuit Television* (CCTV). Pada penelitian [40] digunakan instrumen referensi berupa termohyrometer yang merupakan alat ukur suhu dan kelembapan. Termohyrometer digunakan untuk mengkalibrasi sensor berikut DHT22, BME280, SHT31 dan DS18B20.

Pada penelitian [9] yang masuk dalam ruang lingkup suhu dan kelembapan juga menggunakan metode kalibrasi *multi point* pada pengujian sensor DHT 22 yaitu dengan titik pengambilan *sample* diseluruh rentang operasinya yaitu untuk suhu dari 0°C hingga 50°C dan kelembapan 0%RH hingga 100%RH.

Pada ruang lingkup tekanan penelitian [11] menggunakan metode kalibrasi *multi point* pada pengujiannya, dilakukan dengan jumlah 5 *set point* pengujian tekanan yaitu 925, 950, 975, 1000, 1025, dan 1050 hPa. Dari hasil pengujian didapatkan jumlah waktu untuk mencapai masing-masing *set point* yang berguna untuk mengetahui stabilitas alat ukur.

Pada ruang lingkup gas, suhu, dan tekanan [25] penelitian mengukur kandungan CO₂ melibatkan ruang lingkup suhu, kelembapan, dan tekanan. Pada ruang lingkup suhu dilakukan kalibrasi pada *set point* -5°C hingga 50°C dengan kadar CO₂ pada *set point* 350, 450, 700, dan 1000 ppm. Pada ruang lingkup tekanan dilakukan kalibrasi pada *set point* 780 hPa hingga 1050 hPa dengan kadar CO₂ pada *set point* 420 dan 900 ppm. Pada ruang lingkup kelembapan 0%RH hingga 50%RH. Pemilihan *set point* tersebut didasarkan pada *datasheet* sensor LP8.

Pada ruang lingkup waktu penelitian [10] menggunakan metode kalibrasi *multi point*, digunakan 4 *set point* dalam pengambilan data yaitu kelompok perbandingan data 6:4, 7:3, 8:2, dan 9:1, yang berarti perbandingan tahun rentang data diuji untuk mencoba tahapan kalibrasi dengan tahun yang dipakai untuk proses tahapan validasi.

Pada ruang lingkup *levelling* air laut penelitian [12] menggunakan kalibrasi *multi point* pada proses kalibrasi alat ukur tinggi muka air laut. Hal yang dilakukan yaitu dengan melakukan pengukuran antara rambu pasang surut dan sensor, *set point* yang ditetapkan berdasarkan tinggi muka air pada saat itu yaitu 2,9 meter hingga 3,1 meter sebanyak 5 iterasi.

D. Metode Kalibrasi dengan Instrumen Referensi

Penelitian yang terkait dengan alat ukur yang digunakan dalam medis [2], [15], [17], [20] dan alat ukur radiasi yang digunakan di Rumah Sakit dapat dilihat pada [4] dan [18]. Pada penelitian [2] digunakan metode kalibrasi dengan intrumen referensi yaitu melakukan pengambilan data antara alat ukur ECG dengan ECG Simulator sebagai instrumen referensinya. Pada penelitian [15] instrumen referensi yang digunakan berupa kalibrator fototerapi Merk DALE40 *phototherapy radiometer* dan ESA Mextron *type QA-90*. Instrumen referensi yang digunakan untuk mengukur kondisi lingkungan berupa suhu dan kelembapan yaitu Thermohyrometer model DM-303. Pada penelitian [17] masuk dalam ruang lingkup tekanan menggunakan metode kalibrasi dengan menggunakan instrumen referensi yang dimiliki yaitu sphygmomanometer Fluke Parameter Tester DPM4-ICG dan *unit under calibration* yaitu *sphygmomanometer Blood Pressure Monitor* (BPM). Proses kalibrasi dilakukan dengan cara melakukan pemeriksaan fisik, pengujian fungsi, dan pengukuran kinerja alat ukur. Pada penelitian [4] dan [18] melakukan kalibrasi di Laboratorium Kalibrasi Alat Ukur Standar dan Radiasi (KAUSR) instrumen referensi dilakukan dengan penggunaan sumber radiasi Cs-137.

Ruang lingkup suhu udara yang dilakukan oleh penelitian termometer [1], [38], termohyrometer [9], [19], sensor pada stasiun cuaca [24], termometer gelas [28], sensor PT100 [33], menggunakan instrumen referensi yang berbeda dalam proses kalibrasinya. Penelitian [1] menggunakan metode kalibrasi instrumen referensi yang dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor suhu LM35 dengan alat ukur yang sudah terkalibrasi yaitu *Mini Temperature Humidity Meter* yang memiliki tingkat akurasi lebih tinggi dan sudah terkalibrasi sebelumnya. Dalam [9] dilakukan metode kalibrasi untuk pengujian suhu dan kelembapan pada sensor DHT 22 menggunakan chamber suhu dan kelembapan dengan sebuah instrument referensi, kemudian pada tipping bucket juga digunakan sebuah instrumen referensi dengan alat standar BMKG yang tersertifikasi dan tertelusur dengan standar nasional dan standar internasional. Penelitian [19] menggunakan UNI-T UT333S *Digital Temperatur and Humidity Meter* yang sudah tersertifikasi sebagai standar acuan atau menggunakan instrumen referensi untuk pengujian suhu dan kelembapan pada kereta. Penelitian [24] menggunakan instrumen referensi dalam proses kalibrasinya, kalibrasi dilakukan pada laboratorium dengan alat standar tertelusur dan pengambilan data kalibrasi saat uji coba peralatan dilakukan di salah satu Stasiun pemantau, sehingga instrumen referensinya Lintang Pramudya : Metode dan Manfaat Kalibrasi ...

berupa *Automatic Weather Station* (AWS) yang berada di stasiun pemantau tersebut. Instrumen referensi yang digunakan untuk kalibrasi termometer gelas pada penelitian [28] yaitu termometer gelas merk termoschneider dengan resolusi 0.1°C. Sensor suhu yang digunakan dalam penelitian [33] dikalibrasi menggunakan instrumen referensi yaitu sensor suhu PT100, sensor ini digunakan karena memiliki koefisien suhu yang kecil kemudian kedua sensor dikalibrasi dalam *temperature chamber*. Pada penelitian [38] menggunakan sensor suhu model Fluke Hart Scientific 1504 sebagai instrumen referensinya dengan akurasi pabrikan suhu sebesar $\pm 0,125^\circ\text{C}$ dan akurasi pabrikan kelembapan $\pm 1,5\%$.

Ruang lingkup analisa gas dan partikel udara terkait kualitas udara dilakukan pada penelitian alat ukur gas CO, NO, dan CO₂ [5], gas CO dan CO₂ [21], gas CO₂ [25], gas O₃, NO₂, CO, dan SO₂ [32], gas CO, NO₂, dan O₃ [34], gas O₃ dan NO₂ [37], alat ukur BAM [22], alat ukur PM 2.5 [26] dan alat ukur PM dan suhu udara [39]. Pada penelitian [5] digunakan instrumen referensi untuk analisa gas CO, NO, dan CO₂ di alat ukur kualitas udara, instrumen referensi sebelumnya telah dilakukan kalibrasi setiap bulan di laboratorium, dan dilakukan pengangambilan data selama dua minggu untuk evaluasi awal. Penelitian [21] menggunakan instrumen referensi dalam kalibrasi sensor CO (MQ-7) dan sensor CO₂ (MQ-135) dilakukan di laboratorium UPTK3 Surabaya. Dalam [25] instrumen referensi yang digunakan untuk kalibrasi kandungan CO₂ dilakukan pada tiga ruang lingkup yaitu suhu, kelembapan, dan tekanan, pada masing-masing ruang lingkup dikondisikan lalu kemudian diukur kadar CO₂. Kalibrasi dilakukan di Laboratorium Meteorologi Swiss dengan chamber suhu, kelembapan, dan tekanan. Penelitian [34] menggunakan sensor berbeda sebagai instrumen referensinya, untuk mengukur CO di sekitar dengan instrumen Teledyne T300U, CO₂ dengan instrumen LI-COR 820, O₃ dengan instrumen analisa ozon fotometrik Teledyne T400, dan NO dan NO₂ dengan instrumen model Teknologi 2B 405 nm, kemudian pengambilan data dilakukan di Kampus MCU. Penelitian [37] penggunaan instrumen referensi untuk mengukur kandungan O₃ yaitu Fotometri UV Thermo Environment 49C, mengukur kandungan NO₂ dengan *chemiluminescence* thermo 42C. Analisa gas dilakukan di laboratorium sebelum pengujian di lokasi terpilih dan dilakukan pengecekan setiap satu bulan.

Pada penelitian [22] penggunaan *Beta Attenuation Monitor* (BAM) yang berada di stasiun pemantau kualitas udara di Seoul digunakan sebagai instrumen referensi untuk kalibrasi multi-sensor PM. Dalam [26] penelitian ini menggunakan instrumen referensi berupa GRIMM 11-E untuk mengkalibrasi sensor Sensiron SPS30, kalibrasi dilakukan pada *combustion chamber*. Kalibrasi pada penelitian [32] menggunakan data yang dihasilkan dari instrumen referensi yang terletak di stasiun pemantau kualitas udara, sensor ini diletakan berdampingan dengan menggunakan teknik *machine learning*. Pada penelitian [39] tiga sensor partikel berbiaya rendah berdasarkan hamburan cahaya yaitu Shinyei PPD42NS, Samyoung DSM501A, dan

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372



Sharp GP2Y1010AU0F dievaluasi dengan metode kalibrasi yang diadaptasi dari rekomendasi Lokakarya dengan instrumen referensi Sensor Udara EPA 2013 AS. Hasil percobaan pada kemampuan pengulangan tiga sensor yang diuji yang diukur dengan simpangan baku dan simpangan baku relatif diplot sebagai fungsi konsentrasi SidePak.

Ruang lingkup tekanan terdapat dalam penelitian Barometer [11], [16], [30], Turbidimeter [20], dan Termohygroter dan Pyranometer [29]. Pada penelitian [11] dalam melakukan kalibrasi menggunakan metode dengan instrumen referensi yang dibutuhkan yaitu barometer standar, solenoid valve, pompa peristaltik dan mikrokomputer. Proses memasasukan titik ukur dari operator memanfaatkan penerimaan dari mikrokomputer, melakukan kalkulasi kendali tekanan udara, mengendalikan pompa peristaltik dan solenoid valve langkah terakhir yaitu menampilkan hasil kalibrasi kepada operator. Penelitian [16] melakukan kalibrasi dengan metode instrumen referensi yang digunakan yaitu Barometer Digital merk Vaisala yang digunakan untuk pengamatan operasional di kantor BMKG Tanjung Pinang. Hasil perbandingan data sensor dengan data BMKG yaitu BMP280 mendapatkan nilai RMSE sebesar 0,16 hPa dan BME280 sebesar 2,25 hPa. Pada penelitian [29] instrumen referensi tidak langsung disandingkan dengan alat ukur, namun penggunaan data tetap diambil dari instrumen referensi. Data diambil dari *The Automated Meteorological Data Acquisition System* (AMeDAS) yang merupakan kumpulan data hasil pengamatan setiap jam di Jepang yang dilakukan di 1300 peralatan di stasiun pegamatan yang di bawah oleh *Japan Meteorological Agency* (JMA), sehingga akuisisi data untuk alat ukur suhu tersebut diambil dari AMeDAS. Pada penelitian [30] dilakukan kalibrasi menggunakan instrumen referensi yaitu *Standar Dead Weight Tester* (DWT) Pneumatik yang biasa dipakai oleh SNSU-BSN, alat standar tersebut digunakan untuk mengkalibrasi piston silinder 978 dan piston silinder 1054. Penelitian [20] menggunakan Turbidimeter Nephelometer Jenis SGZ-200BS sebagai instrumen referensinya dan dengan *unit under test turbidity* sensor (NTU-18).

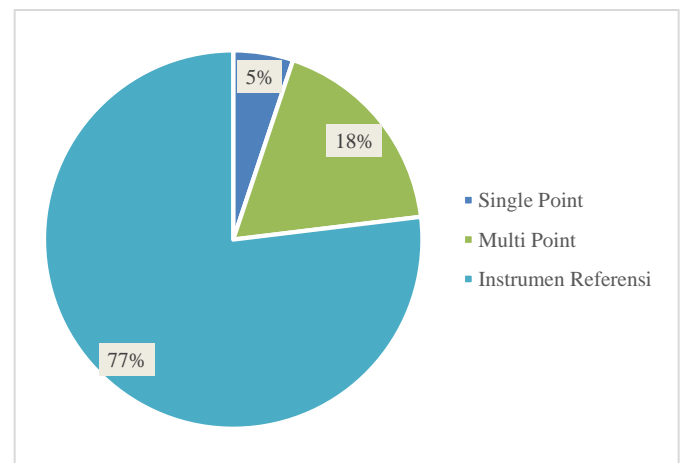
Pada ruang lingkup *levelling* air laut penelitian [12] juga menggunakan metode kalibrasi instrumen referensi dengan memanfaatkan terpasangnya rambu pasang surut yang digunakan untuk media kalibrasi dalam membaca output sensor. Nilai yang terukur pada palem harus sama dengan yang terbaca pada sensor. Kemudian *levelling* akan dilakukan dari *benchmarks* (BM) terhadap palem sehingga dihasilkan nilai pembacaan pada data logger CR6 yang harus sama dengan nilai pada rambu pasang surut. Data pasang surut harus diikat ke satu titik tetap di daratan. Dari perhitungan selisih tinggi antara BM dengan rambu pasang surut maka didapatkan nilai pengikat di darat.

Pada ruang lingkup kelembapan tanah penelitian [36] melakukan kalibrasi pada sensor kelembapan tanah dilakukan menggunakan instrumen referensi yaitu sensor kelembapan tanah SM-200, Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK. Pengujian sensor dilakukan di Laboratorium dengan menggunakan beberapa sample tanah yaitu sampel tanah laboratoriu, sampel tanah organik, dan tanah campuran keduanya.

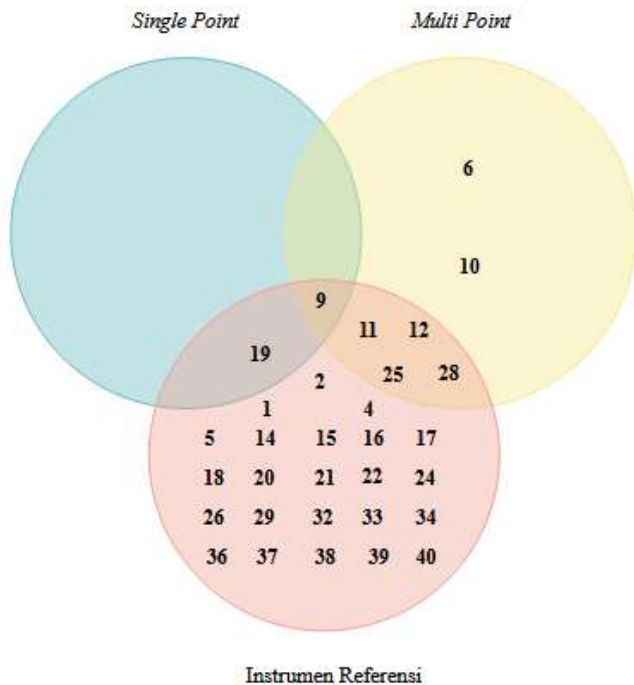
Ruang lingkup frekuensi pada penelitian [35] dijelaskan mengkalibrasi ECG yang merupakan alat ukur detak jantung.

Instrumen referensi yang digunakan yaitu ECG standar utama frekuensi di Laboratorium SNSU Kelistrikan dan Waktu Badan Standardisasi Nasional. *Unit under calibration* yaitu generator sinyal frekuensi SRS DS345 berdasarkan besaran frekuensi yang diukur dengan range 30~300 bpm atau 0.5~5 Hz kalibrasi dilakukan di Laboratorium SNSU.

Berdasarkan hasil telaah diatas didapatkan persentase metode kalibrasi yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 3. Metode kalibrasi yang banyak digunakan pada penelitian yaitu metode instrumen referensi 77% yaitu metode dengan menggunakan sebuah instrumen referensi atau standar acuan yang sudah terkalibrasi sebelumnya, sehingga tertelusur dengan standar nasional dan standar internasional. Metode kalibrasi dengan penggunaan paling sedikit yaitu metode kalibrasi *single point* dengan 5% atau 2 penelitian. Metode kalibrasi multi point dengan persentasi 18% atau 7 penelitian. Pada sebuah penelitian metode kalibrasi dapat digunakan lebih dari satu atau kombinasi tiga metode kalibrasi seperti yang terlihat pada diagram venn Gambar 4. Terdapat satu penelitian yang menggabungkan metode kalibrasi *single point*, metode kalibrasi *multi point*, dan metode kalibrasi instrumen referensi. Kombinasi metode kalibrasi *single point* dengan metode kalibrasi instrumen referensi terdapat satu penelitian. Kombinasi metode kalibrasi *multi point* dengan metode kalibrasi instrumen referensi berjumlah 4 penelitian.



Gambar 3. Persentase Penggunaan Metode Kalibrasi



Gambar 4. Diagram Venn Penggunaan Metode Kalibrasi

Berdasarkan hasil telaah diatas didapatkan 13 besaran yang lebih spesifik dari semua penelitian. Besaran disini dapat terlihat pada Gambar 5. Besaran terbanyak yaitu suhu udara berjumlah 12 penelitian, kemudian besaran paling sedikit yaitu curah hujan, waktu, *levelling* air laut, kekeruhan air, kelembapan tanah, dan frekuensi yang berjumlah masing-masing satu penelitian. Besaran suhu udara, kelembapan udara, dan tekanan udara banyak dilakukan penelitian karena merupakan indikator untuk analisis perubahan iklim di Indonesia maupun di dunia [43]. Dalam analisis yang dilakukan setiap 5 tahun oleh *World Meteorological Organization* (WMO) di Geneva Swiss pada 17 Mei 2023 [43], hal tersebut membutuhkan data suhu udara, kelembapan udara, tekanan udara, dan curah hujan untuk mengetahui kenaikan rata-rata suhu global dalam jangka 5 tahun kedepan dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya. Data suhu udara juga digunakan oleh *World Meteorological Organization* (WMO) untuk analisis anomali iklim global seperti *El Nino* dan *La Nina* pada beberapa negara terdampak [43]. Dalam penelitian [48] suhu udara digunakan sebagai indikator untuk analisis adanya anomali iklim setiap satu dekade dan analisis perubahan suhu secara global berdasarkan data observasi yang didapatkan dari WMO. Dalam penelitian [44] suhu udara digunakan sebagai salah satu indikator prakiraan cuaca oleh Stasiun *Global Atmosphere Watch* (GAW) Lore Lindu Bariri, informasi cuaca bermanfaat untuk masyarakat dalam hal ini digunakan untuk informasi masa tanam bagi petani, informasi waktu berlayar bagi nelayan, dan informasi waktu pembangunan infrastruktur Lintang Pramudya : Metode dan Manfaat Kalibrasi ...

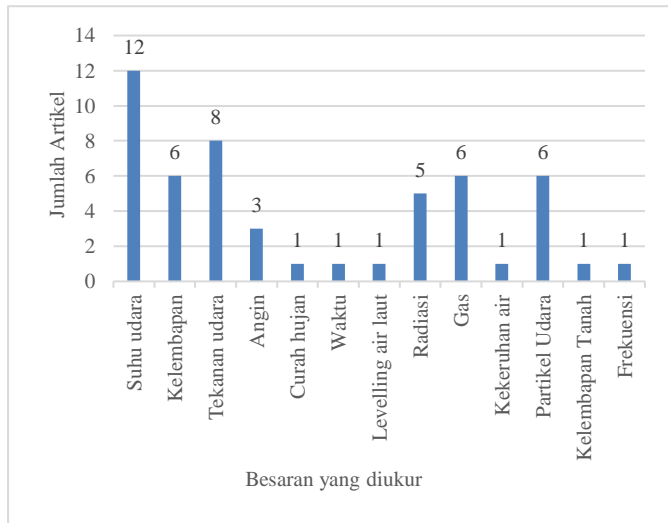
bagi kontraktor. Dalam penelitian [47] informasi cuaca yang diberikan oleh Stasiun Klimatologi Mlati Sleman bermanfaat bagi masyarakat sekitar Yogyakarta. Informasi cuaca membantu masyarakat mengetahui cuaca beberapa hari ke depan, bidang pertanian, bidang pariwisata, bidang keamanan transportasi, bidang perikanan, dan bidang penanggulangan bencana daerah [47]. Suhu udara, kelembapan udara, tekanan udara, kecepatan angin, dan arah angin merupakan parameter yang dilaporkan dalam memenuhi informasi meteorologi penerbangan yang ada di Bandara Fatmawati Soekarto Bengkulu [45], informasi tersebut bermanfaat untuk meningkatkan keselamatan penerbangan. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2001 Tentang Keamanan dan Keselamatan Penerbangan [46], pada pasal 45 dijelaskan bahwa bandar udara wajib menyediakan informasi cuaca di lingkungan setempat. Informasi cuaca tersebut disiapkan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).

Pada besaran gas dan partikel udara banyak dilakukan penelitian karena berkaitan dengan kesehatan manusia [49] [52] dan kualitas lingkungan [50] [51]. Dalam penelitian [49] partikel udara PM 2.5 dapat menyebabkan masalah kesehatan pernapasan hingga kanker, hal ini dikarenakan PM2.5 diameter berukuran kurang dari 2.5 mikrometer yang dapat sampai ke alveolus paru-paru. Pada tahun 2004 Asosiasi Peneliti Hati Amerika menyatakan bahwa partikel udara menjadi pemicu penyakit kardiovaskular [50]. Dalam penelitian [52] pencemaran udara dapat menyebabkan gangguan pernapasan, penyakit kardiovaskular, gangguan pada ibu hamil, dan penurunan fungsi paru-paru, sehingga perlu dilakukan tindakan pencegahan seperti mengurangi penggunaan kendaraan pribadi, menggunakan energi terbarukan, pemantauan kualitas udara, dan edukasi masyarakat. Dalam penelitian [50] salah satu indikator penilaian kualitas udara adalah partikel udara, semakin tinggi kandungan PM2.5 maka dikatakan adanya pencemaran udara. Dalam penelitian [51] salah satu penyebab pencemaran udara adalah emisi gas buang pada kendaraan yang mengandung CO₂, SO₂, NO₂, Timbal, PM2.5, dan PM10.

Dalam besaran radiasi banyak dilakukan penelitian karena dapat berkaitan dengan pasien di Rumah Sakit [53] [54] dan lingkungan [56] [57]. Dalam penelitian [53] alat medis yang menggunakan penerapan radiasi seperti Sinar-X, CT-Scan, dan Roentgen sangat membantu pekerja medis dalam mendiagnosa melalui radioterapi, radiodiagnostik, dan kedokteran nuklir. Dalam penelitian [54] penggunaan alat medis radiasi seperti X-ray, Ultrasonografi (USG), CT-Scan, *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), dan *Positron Emission Tomography* (PET) membantu dokter dalam mempercepat hasil pemeriksaan pasien dan dalam mendiagnosa kesehatan pasien. Berdasarkan Riset Kesehatan Dasar (riskesdas) tahun 2018 yang dilakukan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, jumlah penderita kanker di Indonesia per tahun 2018 yaitu 1.017.290 penderita dan jenis pengobatan yang menggunakan radiasi atau penyinaran sebesar 17,3% [55]. Radiasi juga dimanfaatkan



dalam proses pengobatan kanker berupa terapi radiasi [53]. Dalam penelitian [56] radiasi dari matahari bermanfaat dalam instalasi penerangan jalan menggunakan sel surya, dalam hal ini bermanfaat sebagai pengganti bahan bakar fosil yang ramah lingkungan. Dalam penelitian [57] radiasi matahari diubah menjadi energi surya dalam bentuk energi surya Fotovoltaik dan energi surya Termal, energi surya tersebut dapat dimanfaatkan dalam bidang industri, perkantoran, rumah tangga, dan daerah terpencil.

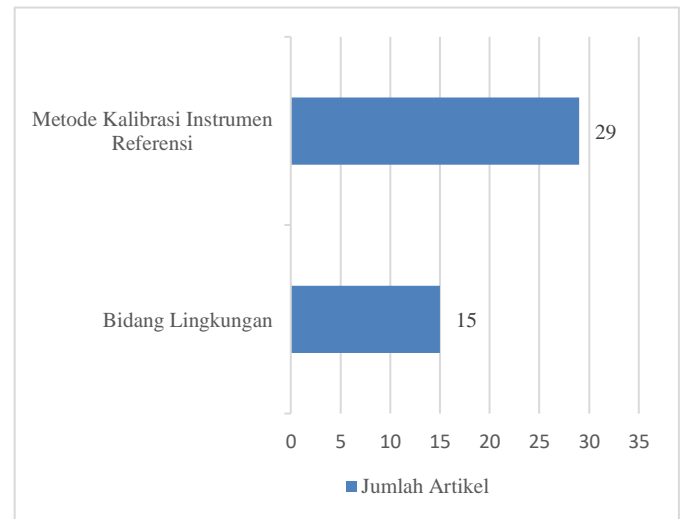


Gambar 5. Jumlah Besaran Terukur dalam Penelitian

Berdasarkan hasil telaah yang dilakukan pada 40 artikel jurnal didapatkan dua pembahasan utama terkait kalibrasi alat ukur yang dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan bidang aplikasinya terdapat 15 penelitian terkait isu lingkungan yang terdiri dari 12 penelitian membahas kualitas udara dan 3 penelitian membahas hidrologi. Berdasarkan metode kalibrasi yang digunakan terdapat 29 penelitian yang menggunakan metode instrumen referensi. Dalam hal ini penggunaan metode kalibrasi instrumen referensi dilakukan berdasarkan objektivitas yang memungkinkan pengumpulan data secara objektif dan konsisten. Dalam penelitian [59] pemilihan metode kalibrasi yang sesuai dapat mengurangi penyimpangan hasil kalibrasi alat ukur, sehingga hasil perhitungan ketidakpastian kecil. Berdasarkan besaran yang paling banyak dibahas yaitu suhu udara sebanyak 12 penelitian. Metode instrumen referensi digunakan juga pada besaran suhu udara yang membutuhkan akurasi dan presisi dalam mengumpulkan data, dalam penelitian [44] data suhu udara yang diambil dengan alat manual maupun alat otomatis perlu dilakukan pengecekan kembali sebelum dilakukan analisis prakiraan cuaca. Ruang lingkup suhu udara banyak dilakukan penelitian karena merupakan salah satu indikator perubahan iklim [43], indikator prakiraan cuaca [44], indikator penilaian anomali iklim per satu dekade [48], dan salah satu parameter dari informasi meteorologi untuk bandara [45].

Kriteria pemilihan metode kalibrasi alat ukur memerlukan pertimbangan beberapa faktor yaitu ketelusuran alat standar (*traceability*) [42], stabilitas alat ukur standar [61], dan ruang lingkup yang akan dikalibrasi. Metode kalibrasi memberikan jejak ketelusuran yang jelas dan dapat dipertanggungjawabkan ke standar nasional atau internasional [20][42][60].

Berdasarkan ISO/IEC 17025:2017 ketertelusuran instrumen referensi ke *The International System of Units* dapat dilakukan dengan kalibrasi oleh pihak ketiga yang terakreditasi [42]. Jejak ketelusuran menjadi hal utama untuk memastikan bahwa hasil kalibrasi dapat dipercaya [5] [60]. Tinjauan rekam jejak metode kalibrasi menjadi bukti bahwa metode tersebut stabil dan konsisten dalam memberikan data yang baik [62]. Melakukan kalibrasi alat ukur menggunakan metode kalibrasi instrumen referensi memiliki kelebihan antara lain memberikan jejak ketelusuran yang jelas pada standar nasional dan internasional [20] [42]. Instrumen referensi memiliki tingkat keakuratan yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan keandalan hasil kalibrasi. Berdasarkan ISO/IEC 17025:2017 alat ukur wajib dilakukan kalibrasi secara berkala dengan tujuan mengkonfirmasi jika terjadi kesalahan pada pengukuran sebelumnya, menentukan ketidakpastian yang dapat dicapai alat ukur, dan meningkatkan keakuratan alat ukur [42]. Metode kalibrasi instrumen referensi juga memiliki kelemahan antara lain biaya kalibrasi yang tinggi [62] karena tingkat akurasi yang tinggi. Penggunaan metode kalibrasi instrumen referensi dapat terpengaruh oleh perubahan lingkungan, dalam penelitian [58] proses kalibrasi alat ukur massa perubahan suhu dan kelembapan diamati oleh termohyrometer. Kondisi lingkungan pada proses kalibrasi alat ukur di laboratorium berdasarkan ISO/IEC 17025:2017 harus dipantau, dicek, dan direkam secara teratur sebagai bukti kesesuaian [42].



Gambar 6. Jumlah Penelitian Setiap Pembahasan

V. KESIMPULAN

Artikel ini telah menelaah penelitian tentang kalibrasi alat ukur berdasarkan metode kalibrasi yang digunakan dan manfaatnya dalam beberapa bidang. Mengidentifikasi metode yang paling banyak digunakan, manfaat dari berbagai bidang, besaran yang paling banyak dilakukan penelitian, dan manfaat dilakukan kalibrasi dalam berbagai alat ukur. Penelitian ini mengumpulkan *literature*, menganalisis, meringkas, dan mengelompokkan berdasarkan metode kalibrasi, bidang penelitian, dan besaran yang diukur.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa kalibrasi alat ukur dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yaitu metode *single point*, metode *multi point*, dan

metode instrumen referensi. Metode kalibrasi yang digunakan pada penelitian tersebut disesuaikan dengan kondisi alat ukur, lingkungan, dan hasil yang ingin diketahui. Rara-rata *literature* menggunakan metode kalibrasi instrumen referensi.

Kalibrasi sangat penting di berbagai bidang termasuk kesehatan, lingkungan, penerbangan, teknologi, dan maritim. Rata-rata *literature* sering melakukan kalibrasi alat ukur di bidang lingkungan seperti pada sensor kualitas udara PM2.5 dan PM10. Kalibrasi banyak dilakukan pada alat ukur medis, kualitas udara, pelayanan penerbangan, pelayanan pelayaran, dan teknologi di mana akurasi pengukuran memiliki peran kritis dan penting dalam menentukan laik operasional peralatan.

Penelitian ini bermanfaat meningkatkan wawasan dan ketrampilan bagi petugas di laboratorium kalibrasi alat ukur dan menjadi sumber informasi bagi peneliti bidang ilmu terkait untuk melakukan penelitian lebih lanjut. Selain itu bermanfaat menambah informasi untuk meningkatkan akurasi produk bagi perusahaan manufaktur dan memastikan instansi terkait standarisasi patuh terhadap pedoman yang ditetapkan. Dengan melakukan kalibrasi secara teratur dan berkala, dapat menjamin bahwa alat ukur atau instrumen pengukur atau standar acuan memberikan hasil yang dapat diandalkan dan sesuai dengan standar yang berlaku secara nasional dan internasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih semua peneliti dari artikel dan jurnal yang digunakan dalam penelitian *literature review* ini. Terima kasih kepada dosen yang sudah membimbing penulisan *literature review* ini.

REFERENSI

- [1] Khotimah, O., Darmawan, D. and Rosdiana, E., (2022) "Perangkat Dan Metoda Kalibrasi Sensor Universal", eProceedings of Engineering, 9(3).
- [2] Wati, E.K., (2021) "Penguji dan Kalibrasi Alat Kesehatan Pada Electrocardiograph", STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi), 6(1), pp.50-54.
- [3] Susana, E., Nursyamsi, I., Kristianti, W. and Komarudin, A., 2020. Gerakan SAKAMED Sebagai Upaya Meningkatkan Kesadaran Pentingnya Kalibrasi Peralatan Kesehatan di Puskesmas. Dinamisia: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 4(2), pp.346-353.
- [4] Fuadi, N. and Janna, M., 2023. Kalibrasi Dosimeter Saku Gamma Menggunakan Sumber Radioaktif Cesium-137 di Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Makassar. SAINFIS: Jurnal Sains Fisika, 3(1), pp.50-59.
- [5] Spinelle, L., Gerboles, M., Villani, M.G., Aleixandre, M. and Bonavitacola, F., (2017) "Field calibration of a cluster of low-cost commercially available sensors for air quality monitoring Part B: NO, CO and CO₂", Sensors and Actuators B: Chemical, 238, pp.706-715.
- [6] Nurdianto, G., Rahmat, M. and Nurrohman, N., (2019) "Uji Kinerja Movable Thermostatic Bath Sebagai Alat Kalibrasi Termokopel", AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 5(1), pp.13-23.
- [7] Suprihatin, E.E., (2021) "Pengaruh Penganggaran, Prosedur Kalibrasi, Dan Praktik Sumber Daya Manusia Terhadap Kepatuhan Pelaksanaan Kalibrasi Alat Kesehatan Di Puskesmas Se-Kabupaten Gunungkidul", Jurnal Riset Manajemen Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Widya Wiwaha Program Magister Manajemen, 8(1), pp.67-79.
- [8] Firdaus, A.J.A., Pramono, D. and Purnomo, W., (2020) "Pengembangan Sistem Informasi UPT Kalibrasi Dinas Kesehatan Kabupaten Malang

- Berbasis WEB", Jurnal Sistem Informasi, Teknologi Informasi, Dan Edukasi Sistem Informasi, 1(1).
- [9] Toruan, K.L., Barus, E.I.C. and Sinambela, M., (2023) "Rancang Bangun Kalibrator Portable Penakar Hujan Tipping Bucket", METHODIKA: Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi, 9(2), pp.35-42.
- [10] Ilham, M., Suhartanto, E. and Fidari, J.S., (2022) "Analisis Hujan TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) menjadi Debit dengan Metode FJ Mock pada DAS Bango", Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air, 2(1), pp.509-521.
- [11] Santoso, B., Siregar, M.R., Multi, A. and Ridwan, M., 2023. Analisis Otomatisasi Kalibrator Tekanan Udara Portabel dengan Pengontrol PID dengan Metode Ziegler-Nichols dan Åström-Hägglund. Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi, 33(1), pp.45-51.
- [12] Putra, M., 2021, May. Desain dan Implementasi Automatic Water Level Berbasis Sensor Akustik untuk Pemantauan Tinggi Muka Laut di Selat Sunda. In Seminar Nasional Teknik Elektro (Vol. 6, No. 1, pp. 65-69).
- [13] Handayani, I.N., (2020) "Pemeliharaan Preventif Alat Elektromedik di Puskesmas Kecamatan Kebayoran Lama", International Journal of Community Service Learning, 4(1), pp.83-89
- [14] Pramagusta, A.P., Putra, M., Santoso, B. and Ridho, M.S., 2020, March. Rancang Bangun Sistem Sensor True Wind untuk Automatic Weather Station di Kapal. In Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung (pp. 121-134).
- [15] Pertiwi, Y., Hadziqoh, N. and Mustofa, M.A., Analisis Hasil Kalibrasi Alat Phototherapy Merk Gea Medical Type Xhz-90. Komunikasi Fisika Indonesia, 19(2), pp.83-90.
- [16] Yuliani, Y., Suhendra, T. and Kusuma, H.A., 2022. Analisis Perbandingan Akurasi Pada Sensor Tekanan BMP280 dan BME280. Student Online Journal (SOJ) UMRAH-Teknik, 3(1), pp.31-37.
- [17] Hariyono, M.A., Erlita, U.A., Wibowo, B.S., Persadha, G., Japeri, J., Yakub, S., Fatimah, F., Martha, D. and Hadi, M.A., 2023. Pelayanan Kesehatan Melalui Standarisasi Peralatan Kesehatan Di Puskesmas Barabai Kabupaten Hulu Sungai Tengah. Lumbung Inovasi: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat, 8(2), pp.143-153.
- [18] Kardianto, K., Kristanti, K.H., Tiswati, K.A. and Dwihapsari, Y., 2019. Analisis Nilai Ketidakpastian dan Faktor Kalibrasi pada Alat Ukur Radiasi di Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan Surabaya. Jurnal Fisika Dan Aplikasinya, 15(2), pp.56-61.
- [19] Asrori, M., Rezika, W.Y., Salim, A.T.A., Indarto, B. and Nudiansyah, R.T., 2022. Kalibrasi Alat Ukur Temperatur dan Kelembapan Kereta Rel Diesel Elektrik. Jurnal Teknik Terapan, 1(2), pp.36-41.
- [20] Fakhrihal, A.B., Romdania, Y., Wahono, E.P. and Herison, A., 2022. Kalibrasi Alat Ukur Sedimen Tersuspensi Berbasis Turbidity Sensor. Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain, 10(4), pp.591-604.
- [21] Amiroh, K., Permata, O.A. and Rahmanti, F.Z., 2019. Analisis Kualitas Udara untuk Monitoring Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit. Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan, 4(1), pp.29-36.
- [22] Lee, H., Kang, J., Kim, S., Im, Y., Yoo, S. and Lee, D., 2020. Long-term evaluation and calibration of low-cost particulate matter (PM) sensor. Sensors, 20(13), p.3617.
- [23] Li, Z., Stoffelen, A., Verhoef, A., Wang, Z., Shang, J. and Yin, H., 2023. Higher-order calibration on WindRAD (Wind Radar) scatterometer winds. Atmospheric Measurement Techniques, 16(20), pp.4769-4783.
- [24] Masinde, M. and Bagula, A., 2015. A calibration report for wireless sensor-based weatherboards. Journal of Sensor and Actuator Networks, 4(1), pp.30-49.
- [25] Müller, M., Graf, P., Meyer, J., Pentina, A., Brunner, D., Perez-Cruz, F., Hüglin, C. and Emmenegger, L., 2020. Integration and calibration of non-dispersive infrared (NDIR) CO₂ low-cost sensors and their operation in a sensor network covering Switzerland. Atmospheric Measurement Techniques, 13(7), pp.3815-3834.
- [26] Muñoz, C., Huircan, J., Jaramillo, F. and Boso, Á., 2023. Calibration of Sensor Network for Outdoor Measurement of PM_{2.5} on High Wood-Heating Smoke in Temuco City. Processes, 11(8), p.2338.



- [27] Mashuri, A.A. and Zulfa, N., 2022. Sistem Monitoring dan Pendukung Keputusan Kualitas Udara di Kota Semarang Menggunakan IoT. *Jurnal Informatika Upgris*, 8(1).
- [28] Herlambang, B., Larasati, D. and Prihartono, A., 2019. Peningkatan Kemampuan Sistem Kalibrasi Termometer Gelas. *Bunga Rampai Iptek Penerbangan dan Antariksa: Progres Litbangyasa Roket, Satelit, dan Penerbangan 2018*, pp.34-43.
- [29] Yamamoto, K., Togami, T., Yamaguchi, N. and Ninomiya, S., 2017. Machine learning-based calibration of low-cost air temperature sensors using environmental data. *Sensors*, 17(6), p.1290.
- [30] Ega, A.V. and Samodro, R.R.A., 2019. Evaluation on the consistency of calibration results between reference standards of pneumatic pressure balance based on non-full range calibration. *Jurnal Standardisasi*, 21(3), pp.203-210.
- [31] Wijaya, N.H., Safitri, M. and Kartika, W., 2020. Maintenance, Kalibrasi Dan Laporan Online Untuk Mewujudkan Pelayanan Prima Di Puskesmas. *Jurnal Abdidas*, 1(6), pp.705-712.
- [32] Concas, F., Mineraud, J., Lagerspetz, E., Varjonen, S., Liu, X., Puolamäki, K., Nurmi, P. and Tarkoma, S., 2021. Low-cost outdoor air quality monitoring and sensor calibration: A survey and critical analysis. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 17(2), pp.1-44.
- [33] Liu, C., Zhao, C., Wang, Y. and Wang, H., 2023. Machine-Learning-Based Calibration of Temperature Sensors. *Sensors*, 23(17), p.7347.
- [34] Malings, C., Tanzer, R., Hauryliuk, A., Kumar, S.P., Zimmerman, N., Kara, L.B., Presto, A.A. and Subramanian, R., 2019. Development of a general calibration model and long-term performance evaluation of low-cost sensors for air pollutant gas monitoring. *Atmospheric Measurement Techniques*, 12(2), pp.903-920.
- [35] Hapidin, A., Boynawan, A.B.A., Ratnaningsih, R., Pawestri, Y.I. and Githanadi, B., 2022. Peningkatan Kemampuan Ukur Kalibrasi Sumber Frekuensi Di Bawah 10 Hz Dan Simulasi Diseminasinya Dalam Heart Rate Electrocardiogram (ECG). *Instrumentasi*, 46(1), pp.35-47.
- [36] Nagahage, E.A.A.D., Nagahage, I.S.P. and Fujino, T., 2019. Calibration and validation of a low-cost capacitive moisture sensor to integrate the automated soil moisture monitoring system. *Agriculture*, 9(7), p.141.
- [37] Spinelle, L., Gerboles, M., Villani, M.G., Aleixandre, M. and Bonavitacola, F., 2015. Field calibration of a cluster of low-cost available sensors for air quality monitoring. Part A: Ozone and nitrogen dioxide. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 215, pp.249-257.
- [38] Walker, R. and Cordner, A., 2006. Temperature and Relative Humidity Calibration System. In *NCSL international workshop and symposium*.
- [39] Wang, Y., Li, J., Jing, H., Zhang, Q., Jiang, J. and Biswas, P., 2015. Laboratory evaluation and calibration of three low-cost particle sensors for particulate matter measurement. *Aerosol science and technology*, 49(11), pp.1063-1077.
- [40] Rustami, E., Adiati, R.F., Zuhri, M. and Setiawan, A.A., 2022. Uji Karakteristik Sensor Suhu dan Kelembaban Multi-Channel Menggunakan Platform Internet Of Things (IOT). *Berkala Fisika*, 25(2), pp.45-52.
- [41] Susilo, W.S., Danuputri, C., Hakim, L. and Thenata, A.P., 2023. Rancang Bangun Alat Deteksi Gas Beracun Dengan Algoritma Simple Additive Weighting. *ZONASI: Jurnal Sistem Informasi*, 5(1), pp.1-15.
- [42] Badan Standarisasi Nasional., 2013. SNI ISO/IEC 17025 Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi. Jakarta : BSN
- [43] World Meteorological Organization., 2023. Global Annual to Decadal Climate Update. Geneva : WMO
- [44] Alfiandy, Solih., Pemanfaatan Data Iklim Dari Alat Pemantau Cuaca Otomatis Untuk Keperluan Analisis. Palu
- [45] Rizki, Y.S., 2012. Pelayanan Informasi Meteorologi Penerbangan Di Bandara Fatmawati Bengkulu. *Warta Ardhia*, 38(4), pp.396-408.
- [46] Pemerintah Indonesia., 2001. Keamanan dan Keselamatan Penerbangan. Jakarta.
- [47] Hartanto, B., Astriawati, N., Supartini, S. and Yekti, D.K., 2022. Pencarian dan Pemanfaatan Informasi Data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(5), pp.553-564.
- [48] Morice, C.P., Kennedy, J.J., Rayner, N.A. and Jones, P.D., 2012. Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 data set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D8).
- [49] Pope III, C.A. and Dockery, D.W., 2006. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the air & waste management association*, 56(6), pp.709-742.
- [50] Brook, R.D., Rajagopalan, S., Pope III, C.A., Brook, J.R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A.V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R.V., Mittleman, M.A. and Peters, A., 2010. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), pp.2331-2378.
- [51] Arwini, N.P.D., 2019. Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kualitas Udara Di Provinsi Bali. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, 2(2), pp.20-30.
- [52] Maharani, S. and Aryanta, W.R., 2023. Dampak Buruk Polusi Udara Bagi Kesehatan Dan Cara Meminimalkan Risikonya. *Jurnal Ecocentrism*, 3(2), pp.47-58.
- [53] Fardela, R., Andriani, I., Putri, A., Analia, R. and Diyona, F., 2023. Tinjauan Aplikasi Fisika Radiasi Dalam Kesehatan Dan Pemanfaatan Radiasi Pada Bidang Kedokteran. *Ensiklopedia of Journal*, 5(3), pp.223-226.
- [54] Nugaraha, R.A., 2019. Sosialisasi Manfaat Pemeriksaan Radiologi Sebagai Upaya Edukasi Dokter Kepada Pasien Penyakit Dalam.
- [55] Balitbangkes., 2019. Laporan Nasional RISKESDAS 2018. Jakarta
- [56] Widjanarko, W., Perdana, F.A., Alia, N. and Rarindo, H., 2022. Instalasi Penerangan Jalan Umum Berbasis Sel Surya Di Lingkungan Rt 01/Rw 06 Jl. Ikan Kakap Kota Malang. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(2), pp.9-15.
- [57] Widayana, G., 2012. Pemanfaatan energi surya. *Jurnal pendidikan teknologi dan kejuruan*, 9(1).
- [58] Rahmah, F. and Salsabila, F.F., 2022. Uji Kalibrasi Alat Ukur Massa pada Neraca Analitik Menggunakan Metode Perbandingan Langsung. *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, 7(1), pp.24-32.
- [59] Bringmann, B., Besuchet, J.P. and Rohr, L., 2008. Systematic evaluation of calibration methods. *CIRP annals*, 57(1), pp.529-532.
- [60] Destiarti, L., Yuspriyanto, M., Herman, M., Alimuddin, A.H., Wahyuni, N. and Gusrizal, G., 2021, November. Pentingnya Laboratorium Pengujian Terakreditasi di Perguruan Tinggi untuk Perolehan Data Terpercaya bagi Publik. In *Prosiding Seminar Nasional Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi* (pp. 215-222).
- [61] Sugeng, B. and Sulardi, S., 2019. Uji keasaman air dengan alat sensor pH di STT Migas Balikpapan. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 2(1), pp.65-72.
- [62] Sari, D.A.P., 2023, May. Analisis Kelayakan Pengembangan Usaha Kalibrasi PT. Indraloka Kabupaten Sukoharjo. In *Seminar Nasional Pariwisata dan kewirausahaan (SNPK) (Vol. 2, pp. 209-216)*.