

Pengaruh Alat Bantu Kalibrasi *Stopwatch* Menggunakan Metode *Totalize* terhadap Waktu Reaksi Operator

Willi Sutanto¹, Akhdan Nadhif Maulana², Masrofin Zaki³

e-mail: willi.sutanto@akmet.ac.id¹, 19nadhif01@gmail.com², zakikuiki@gmail.com³

^{1,2}Program Studi D-III Metrologi dan Instrumentasi, Akademi Metrologi dan Instrumentasi, Jl. Raya Bandung-Sumedang km 25, Indonesia

³Direktorat Metrologi, Kementerian Perdagangan, Jalan Pasteur No.27 Bandung, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 4 Juli 2024

Direvisi 26 Juli 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

Kata kunci:

kalibrasi *stopwatch*
metode *totalize*
human reaction time bias
human reaction time standar deviation

Keywords:

stopwatch calibration
totalize method
human reaction time bias
human reaction time standard deviation

ABSTRAK

Di berbagai kegiatan manusia, *stopwatch* merupakan salah satu alat ukur yang penting dalam mengukur waktu. Untuk memastikan akurasi pengukurannya, *stopwatch* perlu dikalibrasi. Pada proses kalibrasi sebuah *stopwatch*, operator kalibrasi berperan penting dalam menekan tombol *start/stop* dari *stopwatch* uji maupun alat standar. Hal tersebut termasuk dalam kalibrasi *stopwatch* menggunakan metode *totalize*. Pada metode *totalize*, operator kalibrasi berkontribusi pada ketidakpastian pengukuran di kalibrasi *stopwatch* yang disebut sebagai waktu reaksi operator berupa *Human Reaction Time Bias* (HRTB) dan *Human Reaction Time Standar Deviation* (HRTSD). Pada penelitian ini, alat bantu kalibrasi empat *stopwatch* menggunakan metode *totalize* dibuat dan dipelajari pengaruhnya terhadap waktu reaksi operator. Alat bantu dibuat menggunakan power supply 12V/8A, tiga *push button*, RTC, modul *step-down*, MOSFET, Arduino Uno, solenoid, LCD, dan *buzzer* dengan tujuan agar dapat menggantikan peran operator kalibrasi dalam menekan tombol *start/stop* dari empat *stopwatch* yang diuji dan mengirimkan sinyal ke *generator function* dan *frequency counter* secara bersamaan. Berdasarkan hasil pengujian, alat bantu dapat mempermudah kerja operator kalibrasi karena dapat mengkalibrasi empat *stopwatch* sekaligus menggunakan metode *totalize*. Selain itu, nilai HRTB dan HRTSD yang dihasilkannya, yaitu sebesar 0,0040 s dan 0,0089 s adalah lebih baik dibandingkan nilai HRTB dan HRTSD dengan bantuan operator kalibrasi, yaitu sebesar 0,007s dan 0,028s.

ABSTRACT

A stopwatch is a crucial measuring time tool in various human activities. To ensure its accuracy, the stopwatch needs to be calibrated. In stopwatch calibration, the operator plays a crucial role by starting and stopping both the test stopwatch and standard equipment. This is included in the stopwatch calibration using the totalize method. In the method, the operator contributes to the measurement uncertainty in stopwatch calibration called as Human Reaction Time Bias (HRTB) and Human Reaction Time Standard Deviation (HRTSD). This research developed a calibration assistance tool for four stopwatches using the totalize method and examined its impact on operator reaction time. The tool is made using a power supply, three push buttons, RTC, stepdown module, MOSFET, Arduino Uno, solenoid, LCD, and buzzer to be able to replace calibration operator's role in pressing four stopwatches' start/stop buttons being tested and to send signals to the generator function and frequency counter simultaneously. Based on the test results, the tool effectively simplifies the operator's tasks by calibrating four stopwatches simultaneously. Besides, the



resulting HRTB and HRTSD values of 0.0040 s and 0.0089 s are better than the operator-assisted values of 0.007s and 0.028s.

Penulis Korespondensi:

Willi Sutanto,

Program Studi D-III Metrologi dan Instrumentasi,

Akademi Metrologi dan Instrumentasi,

Jl. Raya Bandung-Sumedang No. Km 25, Sumedang, Jawa Barat, Indonesia, 45362

Email: willi.sutanto@akmet.ac.id

Nomor HP/WA aktif: +62 857-2110-7061

1. PENDAHULUAN

Pengukuran waktu diperlukan di berbagai bidang kehidupan manusia. Di bidang industri, pengukuran waktu diperlukan untuk memastikan jumlah produk yang dihasilkan oleh suatu mesin produksi. Di bidang Kesehatan, pengukuran waktu diperlukan untuk mengetahui kualitas dan ketahanan fisik seseorang. Di bidang olahraga, pengukuran waktu dibutuhkan untuk memastikan pemenang dalam suatu lomba. Adapun di bidang lainnya, pengukuran waktu diperlukan untuk mengetahui batas awal dan akhir dalam melakukan kegiatan. Alat ukur yang biasa digunakan untuk mengukur waktu adalah stopwatch dan timer. Kedua alat ukur tersebut dapat memiliki wujud yang bervariasi seperti dalam bentuk jam tangan, jam dinding, *stopwatch*, atau terintegrasi dalam suatu sistem atau mesin produksi. Adapun hasil pengukuran waktu dapat berupa angka dengan satuan jam, menit dan sekon.

Untuk *stopwatch*, hasil pengukuran waktunya ditampilkan dalam satuan sekon (s). Hal tersebut mengikuti satuan standar interval waktu dari Sistem Internasional (SI) [1]. Satu sekon dalam SI didefinisikan sebagai interval waktu yang diperlukan untuk dua keadaan energi atom cesium bertransisi sebesar 9.192.631.770 kali [2].

Agar hasil pengukurannya akurat, *stopwatch* perlu dikalibrasi. Kalibrasi *stopwatch* adalah cara mengetahui hasil pengukuran waktu akurat serta membangun rantai ketertelusuran *stopwatch* ke standar utama waktu (*Universal Time Coordinated, UTC*) [3]. Proses kalibrasi *stopwatch* melibatkan perbandingan hasil pengukuran waktu antara *stopwatch* uji dan alat standar. Alat standar yang dimaksud adalah referensi pengukuran yang digunakan dengan resolusi dan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan *stopwatch* uji. Metode yang umum digunakan dalam kalibrasi *stopwatch* adalah metode perbandingan langsung, metode *time base*, dan metode *totalize*.

Metode *totalize* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengkalibrasi *stopwatch*, dimana penunjukan waktu oleh *stopwatch* yang akan diuji atau *Unit Under Test* (UUT) dibandingkan dengan hasil sintesis frekuensi dari *generator function* dan dihitung oleh *universal counter* untuk mendapatkan standar waktu [4]. Namun, dalam metode kalibrasi *totalize*, proses kalibrasi masih bergantung pada intervensi manual yaitu dengan menekan tombol *start/stop* pada *stopwatch* maupun alat standar menggunakan tangan, yang seringkali menyumbangkan ketidakpastian waktu reaksi operator (*human reaction time bias, HRTB*) dan standar deviasinya (*human reaction time standar deviation, HRTSD*) [5]. *Human reaction time bias* dan *human reaction time standar deviation* memiliki dampak yang signifikan terhadap ketidakpastian gabungan.

Pada tahun 2019, beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengurangi sumber ketidakpastian waktu reaksi operator berupa *Human Reaction Time Bias* (HRTB) dan *Human Reaction Time Standar Deviation* (HRTSD). Penelitian-penelitian yang dimaksud dilakukan oleh Happidin, dkk. dan Perangin-angin, dkk. Happidin, dkk. telah meneliti factor yang berpengaruh pada penurunan waktu reaksi operator pada kalibrasi stopwatch dengan cara membandingkan hasil HRTB dan HRTSD antara metode perbandingan langsung dengan metode *totalize*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa metode *totalize* menghasilkan ketidakpastian waktu reaksi operator yang lebih baik dibandingkan dengan metode perbandingan langsung. Reaksi operator terbesar yang diperoleh adalah 0,007s untuk HRTB dan 0,028s untuk HRTSD [3]. Di lain pihak, Perangin-angin, dkk. telah berhasil membuat sistem otomasi robot dan kamera untuk mengurangi sumber ketidakpastian waktu reaksi operator. Dalam sistem tersebut, perangkat rakitan

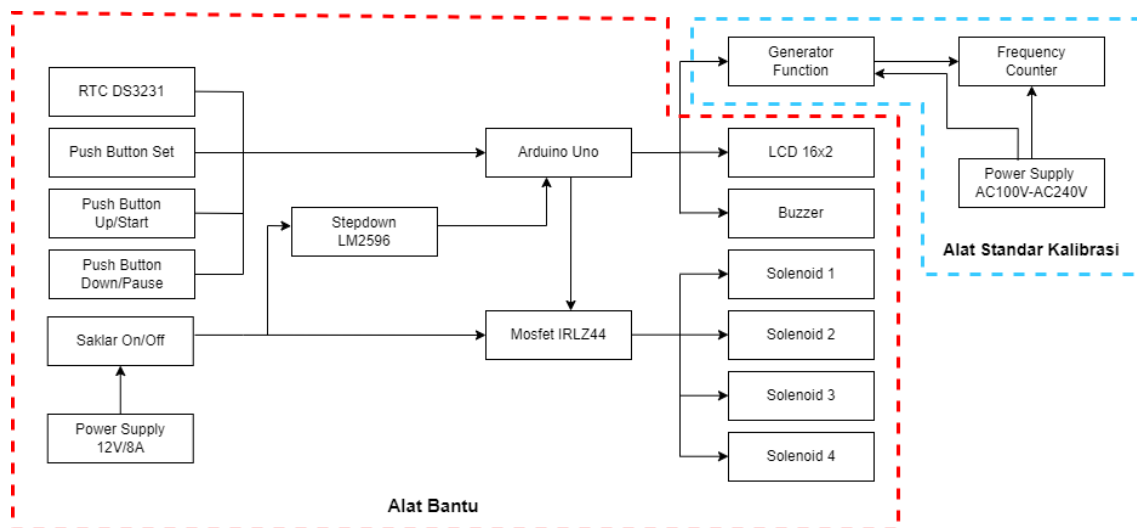


yang terdiri dari lengan robot dan mobil robot mini digunakan untuk menekan tombol *stopwatch* dan mengaktifkan *generator function* dan *universal counter* sebagai standar acuan [6].

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini akan mempelajari pengaruh alat bantu yang dibuat untuk membantu kegiatan kalibrasi *stopwatch* menggunakan metode *totalize* terhadap waktu reaksi operator. Alat bantu tersebut berupa prototipe yang dapat digunakan untuk mengkalibrasi empat buah *stopwatch* sekaligus sedangkan pada penelitian Happidin, dkk [3] dan Perangin-angin, dkk [6] *stopwatch* uji yang digunakan hanya satu saja. Selain itu, alat bantu tersebut dirancang agar dapat menekan secara otomatis tombol *start/stop stopwatch* uji dengan menggunakan *pushbutton* sebagai alat input waktu uji, pemroses sinyal berupa Arduino Uno, serta alat penekan berupa *solenoid push-pull*, kabel *coaxial* sebagai pengirim sinyal dari Arduino ke *generator function* dan *universal counter* serta komponen elektronik lainnya. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat membantu mempermudah kerja operator kalibrasi dalam mengkalibrasi *stopwatch*, mengurangi waktu reaksi operator (HRTB dan HRTSD) serta dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan keakuratan hasil kalibrasi *stopwatch*.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diselesaikan melalui empat tahapan utama. Tahapan pertama adalah studi literatur yang bertujuan untuk menentukan rumusan masalah, tujuan penelitian, dan mencari ide-ide untuk menyelesaikan masalah yang dapat mencapai tujuan penelitian berdasarkan literatur-literatur yang ada. Tahapan ini sudah direalisasikan pada bagian pendahuluan. Tahapan yang kedua adalah merealisasikan ide-ide yang diperoleh melalui pembuatan prototipe alat bantu. Tahapan yang ketiga adalah pengujian prototipe. Tahapan yang keempat adalah pengambilan dan analisa data hasil pengujian.

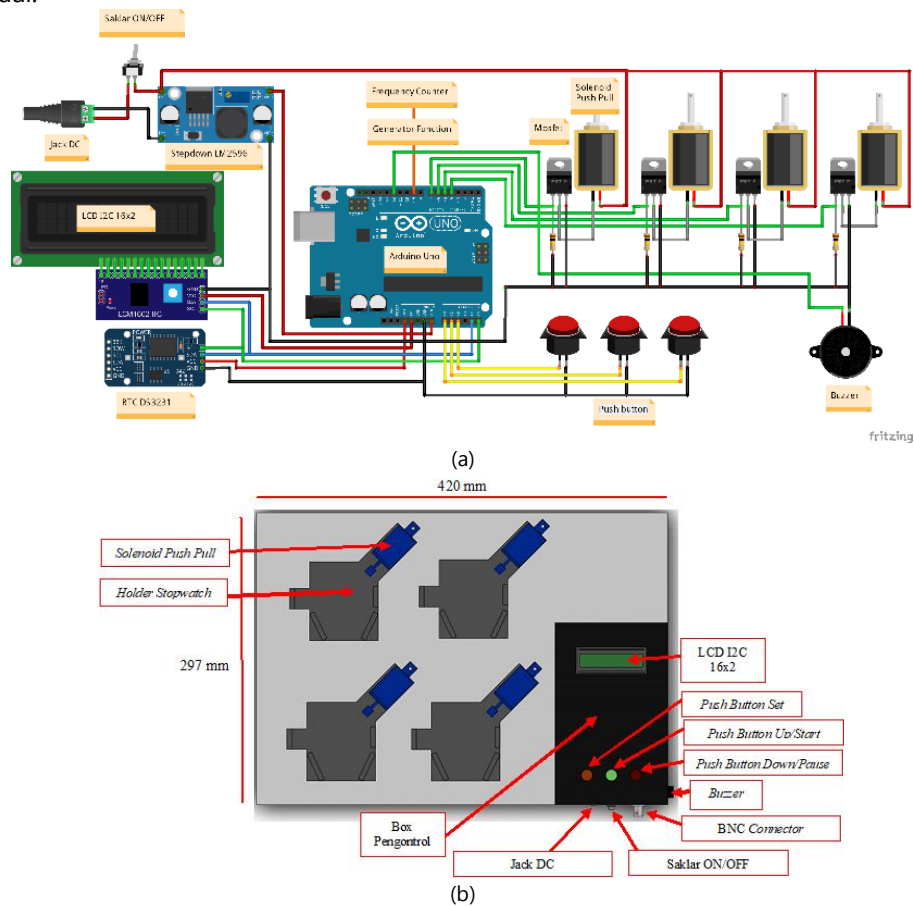


Gambar 1: Diagram Blok Sistem Kalibrasi *Stopwatch* menggunakan Prototipe dengan metode Totalize

Setelah tahapan pertama, pembuatan prototipe yang merupakan tahapan kedua dari penelitian ini dirancang mengikuti prinsip kerja yang ditunjukkan oleh diagram blok pada Gambar 1. Prototipe alat bantu kalibrasi *stopwatch* yang dibuat ditunjukkan oleh bagian yang diberi garis putus-putus berwarna merah sedangkan alat standar pengujian *stopwatch* ditunjukkan oleh bagian yang diberi garis putus-putus berwarna biru. Berdasarkan Gambar 1, komponen penyusun prototipe adalah *power supply* 12V/8A, tiga buah *push button*, RTC DS3231 sebagai komponen penyimpan dan pengatur waktu nyata (*real-time*) [7], modul *stepdown* LM2596, Arduino Uno, mosfet IRLZ44, LCD I2C 16x2, *buzzer*, dan empat buah *solenoid*, sedangkan alat standar kalibrasi yang digunakan adalah *generator function* dan *frequency counter* yang diberi daya oleh *power supply* AC100V-240V. Prinsip kerja prototipe dalam kalibrasi *stopwatch* dengan metode *totalize* dapat dijelaskan dalam empat langkah. Langkah pertama, nyalakan prototipe. Prototipe akan menyala



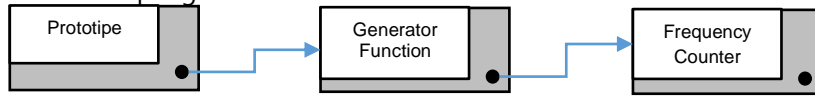
ketika saklar *on/off* ditekan pada posisi *on* sehingga daya dari *power supply* 12V/8A dapat diteruskan ke Arduino dan MOSFET IRLZ44. Namun demikian, tegangan yang diperoleh Arduino tersebut telah diturunkan menjadi 6V oleh modul *step-down* LM2596 [8], sedangkan tegangan yang diperoleh mosfet tetap sama, yaitu 12V. Secara otomatis, ketika Arduino menyala maka akan mengakibatkan RTC DS3231, LCD I2C 16x2, dan *buzzer* akan memperoleh tegangan 5V. Langkah kedua, tentukan waktu kalibrasi. Waktu pengujian tersebut dapat diatur melalui tiga *push button*, yaitu *push button set*, *push button up*, dan *push button down* dan penunjukan waktunya dapat dilihat pada LCD I2C 16x2 berupa HH:MM:SS dimana H untuk jam, M untuk menit, dan S untuk sekon. *Push button set* digunakan untuk memilih pengaturan jam, menit, atau sekon. *Push button up* digunakan untuk menambah jumlah angka pada pengaturan waktu yang terpilih. Adapun *push button down* digunakan untuk mengurangi jumlah angka pada pengaturan waktu yang terpilih. Langkah ketiga, mulai proses kalibrasi. Misalkan, waktu kalibrasi telah diatur dalam 60 sekon atau 00:01:00 yang akan ditampilkan di LCD. Kalibrasi akan dimulai ketika tombol *start (push button up)* ditekan sehingga Arduino akan mengaktifkan pin *trigger* untuk memberikan sinyal ke *generator function* dan memerintahkan MOSFET IRLZ44 sebagai saklar elektrik [9] untuk mengaktifkan empat *solenoid*. Selain itu, ketika *solenoid* aktif maka akan menekan tombol *start stopwatch* secara otomatis, sedangkan ketika *generator function* aktif dalam menghasilkan sinyal frekuensi maka secara otomatis *frequency counter* akan menghitung jumlah pulsa frekuensi yang dihasilkan *generator function*. Waktu kalibrasi selesai ditandai dengan adanya bunyi *buzzer*, *solenoid* menekan tombol *stop stopwatch*, dan pin *trigger* menjadi tidak aktif yang membuat *generator function* berhenti menghasilkan frekuensi, dan *frequency counter* berhenti menghitung pulsa frekuensi. Langkah keempat, catat hasil kalibrasi. Hasil kalibrasi *stopwatch* menggunakan alat bantu ini masih diperlukan operator dimana data penunjukan waktu dari empat buah *stopwatch* dicatat secara manual dan data penunjukan waktu dari alat standar dihitung dan dicatat secara manual.



Gambar 2: (a) Diagram Pengkabelan Prototipe dan (b) Desain Prototipe



Dengan mengacu pada blok diagram, prototipe dibuat mengikuti skema pengkabelan pada Gambar 2(a) dan desain prototipe yang mengikuti Gambar 2(b). Desain prototipe dibuat sedemikian rupa sehingga dapat memegang empat buah *stopwatch* melalui empat buah *holder stopwatch* dan solenoid serta sebuah *box* pengontrol yang berada di atas alas datar yang *rigid*. Pada desain tersebut, selain solenoid, komponen-komponen penyusun prototipe dirangkai menjadi satu dalam *box* pengontrol.



Gambar 3: Rangkaian kalibrasi metode totalize

Rangkaian kalibrasi *stopwatch* menggunakan prototipe dengan metode *totalize* dapat ditunjukkan oleh Gambar 3. Pada penelitian ini, standar pada kalibrasi *stopwatch* menggunakan prototipe dengan metode *totalize* adalah 2 buah *generator function* bermerek *FeelTech FY-6600*. Satu *generator function* digunakan sebagai pembangkit frekuensi sedangkan satu *generator function* lainnya digunakan sebagai *frequency counter* untuk menghitung jumlah pulsa yang dihasilkan oleh *generator function* yang difungsikan sebagai pembangkit frekuensi. Alat tersebut dapat dipilih sebagai *frequency counter* karena tidak tersedia frekuensi referensi seperti Cesium, Rubidium, atau Quartz dan alat tersebut memiliki kestabilan yang cukup [5]. Kalibrasi ini dilakukan dengan menghubungkan *output trigger* dari prototipe ke *generator function* sebagai pembangkit frekuensi menggunakan kabel dan *output* dari pembangkit frekuensi tersebut dihubungkan menggunakan kabel pada *frequency counter*. *Generator function* diatur keluaran frekuensinya sehingga menghasilkan resolusi dari *frequency counter* satu tingkat lebih teliti dari resolusi *Unit Under Test* (UUT). Jika resolusi dari UUT adalah 0,01 detik (periode 10 milidetik), maka *generator function* diatur pada frekuensi 1 kiloHertz (periode 1 milidetik). Dengan cara ini, waktu standar (Tref) dapat ditentukan dengan membagi jumlah pulsa *output* pada *frequency counter* dengan frekuensi yang dihasilkan oleh *generator function*, sesuai dengan persamaan (1).

$$T_{ref} = \frac{\text{Jumlah Pulsa}}{\text{Frekuensi}} \quad (1)$$

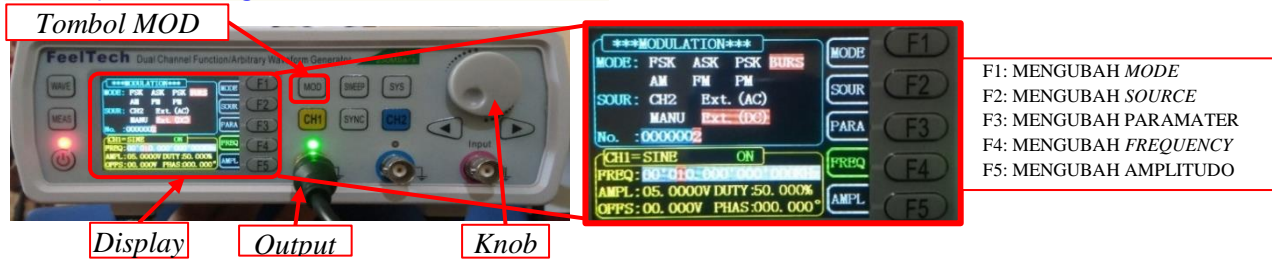
Tahap ketiga pada penelitian adalah pengujian prototipe. Prototipe yang telah dibuat diuji dengan beberapa pengujian. Pengujian tersebut dibagi menjadi tiga, yaitu pengujian fungsionalitas, pengujian prototipe dalam melakukan kalibrasi sebuah *stopwatch* pada posisi *stopwatch* yang berbeda menggunakan metode *totalize* untuk mengetahui pengaruh alat bantu terhadap waktu reaksi operator, dan pengujian kalibrasi empat *stopwatch* posisi tetap untuk mengetahui linearitas penunjukan keempat *stopwatch* uji. Pengujian kalibrasi sebuah *stopwatch* metode *totalize* menggunakan alat bantu pada posisi berubah dilakukan pada titik uji 10 s dengan pengulangan sebanyak 10 kali. Pengujian kalibrasi empat *stopwatch* metode *totalize* menggunakan alat bantu pada posisi tetap dilakukan pada titik uji 10s, 30s, 60s, 300s, 300s, dan 900s dengan pengulangan masing-masing titik uji sebanyak 3 kali.

Pada pengujian kalibrasi sebuah *stopwatch* menggunakan prototipe yang telah dibuat dengan metode *totalize*, alat-alat yang diperlukan adalah prototipe alat bantu kalibrasi *stopwatch*, empat buah *stopwatch* uji, standar pengujian berupa 2 buah *generator function FeelTech YF-6600* yang salah satunya difungsikan sebagai *signal generator* dan salah satunya lagi difungsikan sebagai *frequency counter*, dan kabel BNC-BNC yang menghubungkan prototipe ke *generator function*.

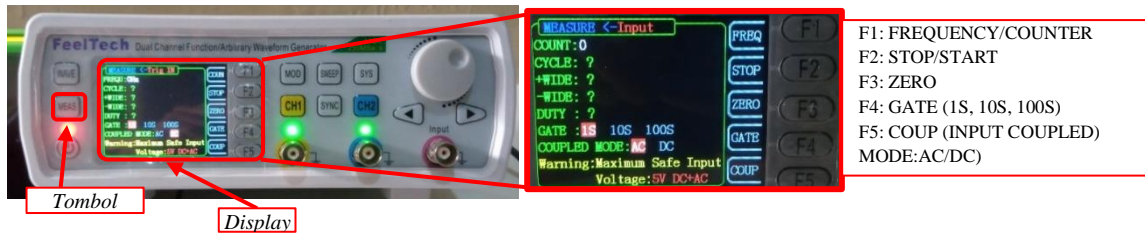


Gambar 5: Panel Belakang *Generator Function* YF-6600





Gambar 6: Generator Function YF-6600 Modulation



Gambar 7: Generator Function YF-6600 Measure

Kalibrasi *stopwatch* yang menggunakan prototipe dengan metode *totalize* dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahapan pertama adalah siapkan *generator function* yang sudah dihubungkan dengan sumber listrik pada *power input socket* yang terlihat pada Gambar 4 dan hubungkan adaptor 12V/8A pada *port Jack DC* prototipe. Tahapan kedua adalah hubungkan prototipe melalui *port BNC Connector* dengan *generator function* pada *port TrigIN* yang terletak pada bagian belakang yang ditunjukkan pada Gambar 5. Tahapan ketiga adalah hubungkan *output channel 1 generator function* pada *port TrigIN frequency counter*. Untuk mengaktifkan dan menonaktifkan *generator function*, gunakan *power switch* pada bagian belakang *generator function*, serta gunakan saklar *on/off* untuk mengaktifkan dan menonaktifkan prototipe. Tahapan keempat adalah siapkan empat buah *stopwatch* berupa sebuah *stopwatch* standar dengan daya baca 10^{-3} dan 3 buah *stopwatch* dengan daya baca 10^{-2} . Tahapan kelima adalah beri identitas setiap *stopwatch* seperti S1, UUT1, UUT2, dan UUT3. Tahapan keenam adalah pasang semua *stopwatch* pada *holder* dan putar penjepit *stopwatch* searah jarum jam untuk melonggarkan dan arah sebaliknya untuk mengencangkan. Tahapan ketujuh adalah atur *generator function* untuk dapat mengeluarkan sinyal frekuensi yang dihitung oleh *frequency counter* sesuai *trigger* dari prototipe. *Generator function* diatur pada fungsi *burst*. Fungsi *burst* merupakan fungsi yang dapat mengeluarkan sinyal frekuensi yang dapat diatur dan mendukung input pemacu eksternal. Fungsi *burst* tersebut dapat diaktifkan dengan menekan tombol *MOD*, ubah mode menjadi *BURST* dengan *Source External* (DC). Keluaran frekuensi dapat diatur dengan mengubah menu *frequency* menggunakan tombol F4 dan *knob*, seperti yang terlihat pada Gambar 6. Tahapan kedelapan adalah atur *generator function* yang difungsikan sebagai *frequency counter* agar dapat menghitung jumlah pulsa frekuensi dari *generator function* lainnya. Untuk melakukan hal tersebut terdapat tiga Langkah pengaturan yang harus dilakukan. Langkah pertama adalah aktifkan fungsi MEAS. MEAS dapat diaktifkan dengan cara menekan tombol MEAS pada bagian sebelah kiri depan dari *generator function* seperti yang terlihat pada Gambar 7. Langkah kedua adalah mengubah mode *input coupled* dari AC menjadi DC dengan cara menekan *tombol/F5*. Langkah terakhir adalah tampilkan hasil pulsa yang terhitung dengan cara menekan tombol F1.

Tahapan terakhir adalah mengatur waktu pengujian. Waktu pengujian disesuaikan dengan titik uji yang telah ditentukan dan diatur pada *box* pengontrol menggunakan tiga *push button* yang ditampilkan pada layar LCD. Pengaturan waktu pengujian dimulai dengan menekan tombol *Set*, menampilkan empat pilihan yang ditampilkan pada LCD yaitu, *TIMER*, *Set Timer SS* untuk mengatur sekon, *Set Timer MM* untuk mengatur menit, dan *Set Timer HH* untuk mengatur jam. Nilai waktu disesuaikan dengan tombol *Up* untuk menambah nilai dan *Down* untuk mengurangi nilai sesuai menu yang dipilih. Untuk memulai pengujian dapat menekan *push button start* pada *box* pengontrol. Ketika waktu pengujian habis yang ditandai dengan bunyi *buzzer* waktu pada *stopwatch* dan jumlah pulsa pada *frequency counter* dicatat, kemudian hasil penunjukan direset secara manual dengan menekan tombol *reset* pada



stopwatch dan tombol ZERO/F3 pada *frequency counter*. Hasil waktu uji pada *stopwatch* dibandingkan dengan waktu standar *frequency counter* (Tref) yang dihitung menggunakan persamaan (1).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 HASIL PERANCANGAN PROTOTIPE

Hasil dari perancangan prototipe untuk kalibrasi empat buah *stopwatch* menggunakan metode *totalize* ditunjukkan oleh Gambar 4. Prototipe tersebut memiliki alas datar berwarna putih dengan dimensi 420mm x 297mm. Di atas alas tersebut terdapat empat unit *holder stopwatch*, empat unit *solenoid* serta sebuah *box* pengontrol. *Box* pengontrol tersebut mencakup komponen-komponen penyusun prototipe yang dirangkai yang menjadi satu kesatuan berupa tiga buah *push button*, saklar *on/off*, RTC DS3231, modul *step-down* LM2596, Arduino Uno, MOSFET IRLZ44, LCD I2C 16x2, *buzzer*, dan *BNC connector*. Untuk dapat digunakan dalam kalibrasi *stopwatch* metode *totalize*, alat standar pada pengujian yang digunakan adalah 2 buah *generator function* *FeelTech* YF-6600 yang salah satunya difungsikan sebagai *signal generator* dan salah satunya lagi difungsikan sebagai *frequency counter*.



Gambar 4: Prototipe Alat Bantu Kalibrasi Stopwatch menggunakan Metode *Totalize*

3.2 HASIL PENGUJIAN FUNGSIONALITAS PROTOTIPE

Berdasarkan hasil pengujian fungsionalitas, prototipe sudah dapat berfungsi dengan baik untuk digunakan dalam kegiatan kalibrasi menggunakan metode *totalize*. Hal tersebut ditunjukkan dengan beberapa faktor. Faktor pertama adalah berfungsinya tombol pengatur waktu kalibrasi yang ditunjukkan oleh angka jam, menit, sekon pada layar LCD. Faktor kedua adalah berfungsinya semua *solenoid* dalam menekan semua *stopwatch* sehingga dapat menghidupkan dan mematikan penghitungan waktu pada *stopwatch* tersebut ketika kalibrasi dimulai atau selesai. Faktor ketiga adalah muncul dan hilangnya sinyal yang ditampilkan *generator function* ketika kalibrasi dimulai dan dihentikan oleh *timer* yang diatur prototipe. Faktor keempat adalah *frequency counter* dapat menghitung pulsa seiring sinyal yang dihasilkan oleh *generator function* ketika kalibrasi dilakukan.

3.3 HASIL PENGUJIAN PROTOTIPE PADA KALIBRASI SEBUAH STOPWATCH MENGGUNAKAN METODE TOTALIZE

Pengujian ini dibagi dalam dua bagian. Bagian yang pertama adalah pengujian kemampuan setiap *solenoid* dalam kalibrasi sebuah *stopwatch* menggunakan metode *totalize*. Pengujian ini digunakan untuk mengetahui waktu reaksi operator pada setiap *solenoid*. Pengujian ini dilakukan pada setiap *solenoid* sebagai pengganti operator pada prototipe dalam menekan tombol *start/stop stopwatch*. *Stopwatch* yang digunakan dalam pengujian memiliki resolusi 10^{-3} s (S1), sedangkan peralatan standar (*generator function* dan *frequency counter*) memiliki resolusi 10^{-4} s (REF). Setiap *solenoid* melakukan pengukuran sebanyak 10 kali untuk titik uji 10 s. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pada posisi *solenoid* yang mana yang memberikan nilai waktu reaksi operator terkecil. Nilai waktu reaksi operator dapat dilihat dari nilai rata-rata eror atau *human reaction time bias* (HRTB) dan nilai standar deviasi pengujian atau *human reaction time standard deviation* (HRTSD). Semakin kecil nilai waktu reaksi operator yang diperoleh maka pada posisi tersebut penunjukan waktu *stopwatch* mendekati nilai penunjukan waktu dari standar. Pengujian pada bagian kedua adalah pengujian kalibrasi empat buah *stopwatch* menggunakan metode *totalize* untuk mengetahui linieritas



penunjukan waktu *stopwatch* terhadap penunjukan waktu alat standar. Pengujian ini menggunakan satu buah *stopwatch* resolusi 10^{-3} s (S1), dan tiga buah *stopwatch* resolusi 10^{-2} (UUT1, UUT2, UUT3). Pengujian tersebut dilakukan dengan menempatkan *stopwatch* resolusi 10^{-3} yang digunakan sebagai pembanding dengan alat standar diposisikan pada *solenoid* yang memiliki nilai waktu reaksi operator terkecil berdasarkan hasil pengujian pertama. Pengujian ini dilakukan pada titik uji 10 s, 30 s, 60 s, 300 s, 600 s, dan 900 s dengan masing-masing pengulangan sebanyak 3 kali.

Hasil pengujian bagian pertama dapat dilihat pada Tabel I. Rata-rata eror atau HRTB dari penunjukan *stopwatch* pada posisi *solenoid* yang berbeda adalah -0.0014s atau -0.0142% pada *solenoid* A, 0.0040s atau 0.0391% pada *solenoid* B, 0.0032s atau 0.0319% pada *solenoid* C, dan 0.0013s atau 0.0133% pada *solenoid* D. Adapun standar deviasi pengujian atau HRTSD dari penunjukan *stopwatch* pada posisi *solenoid* yang berbeda adalah 0.0048 s pada *solenoid* A, 0.0089s pada *solenoid* B, 0.0086s pada *solenoid* C, dan 0.0036s pada *solenoid* D. Dengan demikian, nilai rata-rata waktu reaksi operator yang terbaik adalah pada *solenoid* D. Posisi ini akan digunakan pada pengujian kedua.

Tabel I: Hasil pengujian solenoid prototipe dalam melakukan kalibrasi sebuah *stopwatch* menggunakan metode *totalize*

Titik uji (s)	Solenoid A		Solenoid B		Solenoid C		Solenoid D	
	Frequency Counter (REF) (s)	Stopwatch (S1) (s)	Frequency Counter (REF) (s)	Stopwatch (S1) (s)	Frequency Counter (REF) (s)	Stopwatch (S1) (s)	Frequency Counter (REF) (s)	Stopwatch (S1) (s)
10	10.3879	10.391	9.6775	9.678	10.7462	10.760	9.8950	9.899
	9.6530	9.649	10.2784	10.279	9.7823	9.780	9.9075	9.906
	10.1287	10.123	10.2339	10.231	9.8635	9.866	10.3245	10.327
	10.1533	10.156	10.6761	10.680	9.6925	9.711	10.1034	10.106
	9.8728	9.870	10.4523	10.460	9.9938	10.003	10.0028	10.001
	9.5389	9.529	9.8730	9.879	10.1078	10.110	9.7276	9.729
	10.6225	10.621	9.7866	9.800	10.9121	10.911	9.7739	9.776
	9.1502	9.150	10.0134	10.033	9.5127	9.512	9.6830	9.692
	9.6238	9.621	9.9479	9.952	10.0619	10.063	10.3793	10.378
	9.1529	9.160	10.7861	10.773	9.5702	9.559	9.8837	9.880
Rata2 (s)	9.8284	9.8270	10.1725	10.1765	10.0243	10.0275	9.9681	9.9694
Error (s)		-0.0014		0.0040		0.0032		0.0013
Error (%)		-0.0142		0.0391		0.0319		0.0133
stdev		0.0048		0.0089		0.0086		0.0036

Pada pengujian bagian kedua, hasil pengujian prototipe pada kalibrasi empat buah *stopwatch* menggunakan metode *totalize* dapat dilihat pada Tabel II. Nilai rata-rata *error* atau HRTB terbaik terdapat pada hasil penunjukan *stopwatch* 10^{-3} atau S1 pada titik 60 s, yaitu sebesar -0.0005 s. Selain itu, nilai HRTSD terbaik ditunjukkan oleh penunjukan UUT1 dan UUT3 pada titik uji 10 s, yaitu sebesar 0.0014 s. Sebaliknya, nilai HRTB terburuk pada *stopwatch* 10^{-3} atau S1 pada titik 600 s adalah 0.0195 s. Selain itu, nilai HRTSD terburuk terjadi juga pada *stopwatch* yang sama pada titik uji 600 s, yaitu sebesar 0.0218 s.

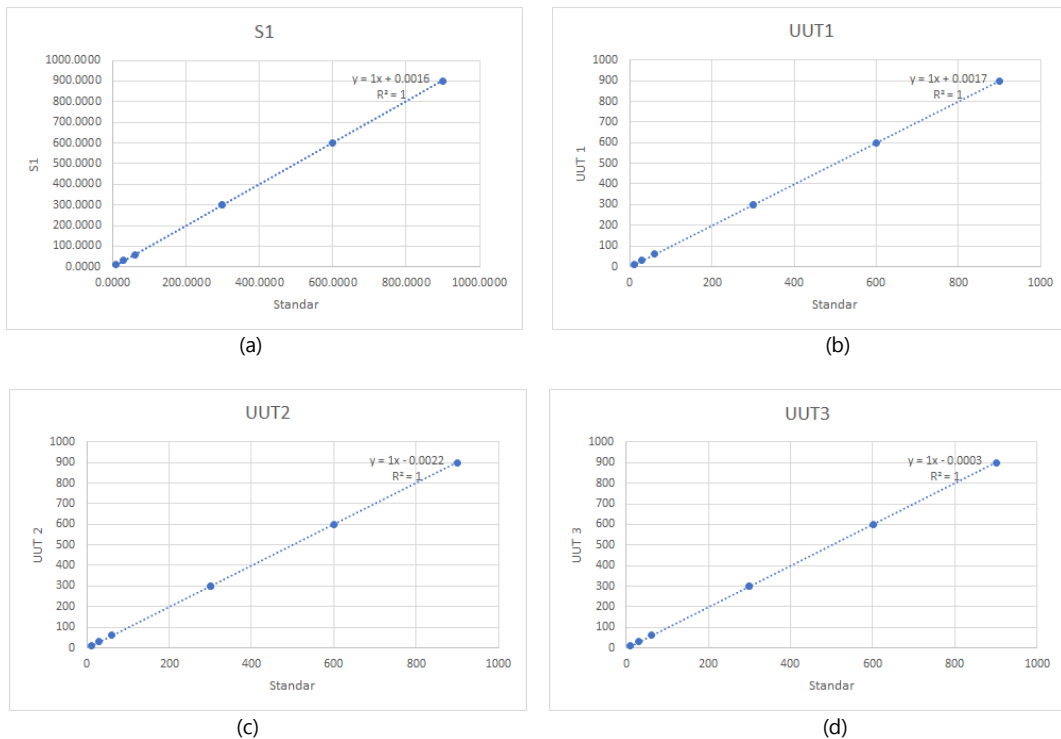
Tabel II: Data Pengujian Prototipe Posisi Tetap

Penunjukan waktu		Titik pengujian (s)					
		10	30	60	300	600	900
REF (s)	Rata2	9.9043	30.0586	60.1845	299.9673	600.2585	900.0477
	Rata2	9.9020	30.0593	60.1840	299.9823	600.2780	900.0657
S1 (s)	Eror (HRTB)	-0.0023	0.0007	-0.0005	0.0150	0.0195	0.0180
	Stdev (HRTSD)	0.0034	0.0037	0.0029	0.0151	0.0218	0.0166
UUT1 (s)	Rata2	9.9067	30.0600	60.1767	299.9800	600.2667	900.0567



	Error (HRTB)	0.0024	0.0014	-0.0078	0.0127	0.0082	0.0090
	Stdev (HRTSD)	0.0014	0.0069	0.0023	0.0149	0.0049	0.0217
	Rata2	9.9033	30.0633	60.1800	299.9600	600.2567	900.0467
UUT2 (s)	Error (HRTB)	-0.0010	0.0047	-0.0045	-0.0073	-0.0018	-0.0010
	Stdev (HRTSD)	0.0072	0.0019	0.0080	0.0044	0.0154	0.0050
	Rata2	9.9067	30.0633	60.1833	299.9600	600.2667	900.0467
UUT3 (s)	Error (HRTB)	0.0024	0.0047	-0.0012	-0.0073	0.0082	-0.0010
	Stdev (HRTSD)	0.0014	0.0019	0.0068	0.0060	0.0049	0.0050

Berdasarkan pengujian bagian kedua, data yang diperoleh juga diolah menjadi suatu grafik linieritas seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8. Linieritas penunjukan rata-rata waktu dari *stopwatch* 10^{-3} atau S1 dapat diwakili oleh persamaan $y = 1x + 0.0016$ dengan R^2 sebesar 1 (lihat Gambar 8(a)). Untuk UUT1, linieritas penunjukan rata-rata waktunya dapat diwakili oleh persamaan $y = 1x + 0.0017$ dengan R^2 sebesar 1 (lihat Gambar 8(b)). Untuk UUT2, linieritas penunjukan rata-rata waktunya dapat diwakili oleh persamaan $y = 1x + 0.0022$ dengan R^2 sebesar 1 (lihat Gambar 8(c)). Adapun untuk UUT3, linieritas penunjukan rata-rata waktunya dapat diwakili oleh persamaan $y = 1x + 0.0003$ dengan R^2 sebesar 1 (lihat Gambar 8(d)). Hasil tersebut menunjukkan bahwa semua *stopwatch* memiliki linieritas pengukuran waktu yang baik jika dibandingkan dengan pengukuran rata-rata waktu dari alat standar (*frequency counter*).



Gambar 8: (a) Grafik hubungan antara penunjukan standar dan nilai rata-rata S1 ; (b) Grafik hubungan antara penunjukan standar dan nilai rata-rata UUT1; (c) Grafik hubungan antara penunjukan standar dan nilai rata-rata UUT2; (d) Grafik hubungan antara penunjukan standar dan nilai rata-rata UUT3.



3. KESIMPULAN

Prototipe alat bantu kalibrasi *stopwatch* menggunakan metode *totalize* telah dapat direalisasikan dan dapat mengurangi pengaruh waktu reaksi operator. Prototipe alat bantu kalibrasi *stopwatch* dapat berfungsi dengan baik untuk membantu operator dalam mengkalibrasi empat buah *stopwatch* sekaligus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai rata-rata eror terburuk, yang disebut sebagai *human reaction time bias* (HRTB), adalah 0.0040 s, dengan standar deviasi yang dikenal sebagai *human reaction time standard deviation* (HRTSD) mencapai 0.0089 s. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa *human reaction time bias* (HRTB) dan *human reaction time standard deviation* (HRTSD) mengalami penurunan jika dibandingkan dengan metode konvensional yang telah diperoleh oleh Hapidin, dkk pada tahun 2019 di mana nilai *human reaction time bias* (HRTB) adalah 0.007 s dan *human reaction time standard deviation* (HRTSD) adalah 0.028 s [3].

Berdasarkan hal tersebut, prototipe ini dapat dipertimbangkan untuk digunakan dalam mengkalibrasi empat buah *stopwatch* di laboratorium kalibrasi waktu dengan beberapa batasan. Batasan yang pertama adalah prototipe ini terbatas penggunaan pada *stopwatch* dengan ukuran tertentu yang sesuai dengan *holder* yang telah dibuat. Batasan yang kedua adalah alat standar yang digunakan belum terkalibrasi ke standar frekuensi yang lebih tinggi. Dengan demikian, untuk penelitian selanjutnya, prototipe dapat dikembangkan untuk dapat digunakan pada *stopwatch* dengan berbagai ukuran dan menggunakan standar pengujian yang telah tertelusur ke standar frekuensi yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. C. Gust, R. M. Graham, and M. A. Lombardi, "960-12 Stopwatch and Timer Calibrations (2009 edition)."
- [2] D. B. Newell and E. Tiesinga, "The international system of units (SI).," Gaithersburg, MD, Aug. 2019. doi: 10.6028/NIST.SP.330-2019.
- [3] A. Hapidin, A. M. Boynawan, Ratnaningsih, Y. I. P, and Agmal Swivano, "Peningkatan Kemampuan Kalibrasi Stopwatch-Timer Puslit Metrologi-Lipi Melalui Metode Totalized," 42(1), 2019.
- [4] R. Graham, "Stopwatch Calibrations, Part II: The Totalize Method," *NCSLI Measure*, vol. 1, pp. 72–73, Jun. 2006, doi: 10.1080/19315775.2006.11721325.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, "SNSU PK. W-01: 2020 Panduan Kalibrasi Stopwatch-Timer," 2020.
- [6] W. Kurnia Perangin-Angin, S. Agmal, M. Azzumar, A. Mohamad Boynawan, A. Hapidin, and Y. Ika Pawestri, "Peningkatan Akurasi Pada Kalibrasi Stopwatch/Timer Menggunakan Sistem Otomasi Robot Dan Kamera," 42(2), 2019.
- [7] M. Akmal Mulyono, "Simulasi Alat Penjaring Ikan Otomatis dengan Penggerak Motor Servo Continuous, Sensor Jarak Hc- Sr04 Dan Tombol, Menggunakan Arduino Mega," *E-Bisnis: Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Bisnis*, vol. 12, no. 1, pp. 39–48, 2019.
- [8] S. Dadi Riskiono and U. Reginal, "Sistem Informasi Pelayanan Jasa Tour Dan Travel Berbasis Web (Studi Kasus Smart Tour)," *Jurnal Informasi dan Komputer*, vol. 6, no. 2, pp. 51–62, 2018.
- [9] H. Maulana Azhar, "Optimasi Battery Charging pada Pendingin Minuman Dengan Sumber Solar Cell Untuk Beban Peltier Menggunakan Buckboost Converter," *Journal of Applied Smart Electrical Network and Systems (Jasens)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2021, [Online]. Available: <http://journal.isas.or.id/index.php/JASENS>
- [10] M. S. Karis, N. Hasim, A. F. Z. Abidin, and S. F. Sulaiman, "Stopwatch verification platform: The development of an automated device for stopwatch calibration," *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 8, no. 3, pp. 4171–4176, Sep. 2019, doi: 10.35940/ijrte.C5500.098319.

