

Rancang Bangun *Electrocardiography*, *Galvanic Skin Response* dan *Skin Temperature* untuk Mendeteksi Stres pada Manusia

Bangkit Nata Satria Muhandiani, Rachmad Setiawan dan Fauzan Arrofiqi
Departemen Teknik Biomedik, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: rachmad@bme.its.ac.id

Abstrak—Stres merupakan masalah umum yang terjadi dalam kehidupan umat manusia yang disebabkan oleh banyak hal seperti kekhawatiran keuangan, pekerjaan, bahkan lingkungan sosial. Menurut saintis Hans Selye – the father of stress research – stres adalah pangsak dari banyak penyakit. Dalam dunia kesehatan, stres sangat berdampak besar dalam cikal-bakal penyakit yang jauh lebih berbahaya seperti meningkatkan kemungkinan terkena jantung koroner, meningkatkan tekanan darah, dan meningkatkan kemungkinan infark miokard. Dalam lingkungan akademik, stres merupakan pengalaman yang paling sering dialami oleh para siswa, baik yang sedang belajar di tingkat sekolah ataupun di perguruan tinggi. Hal tersebut dikarenakan banyaknya tuntutan akademik yang harus dihadapi, seperti ujian, tugas-tugas, dan lain sebagainya. Sejumlah peneliti telah menemukan bahwa siswa yang mengalami stres akan cenderung menunjukkan kemampuan akademik yang menurun, kesehatan yang memburuk, depresi, dan gangguan tidur. Maka dari itu dibuatlah alat instrumentasi *Electrocardiography* (ECG), *Galvanic Skin Response* (GSR), *Skin Temperature* (ST) dengan menggunakan metode Fuzzy Logic Controller (FLC) sebagai decision maker. Dari pengambilan data 10 subjek dilakukan pengujian menggunakan metode Stroop Test, hasilnya variabel ECG dan GSR memiliki korelasi yang tinggi sekitar 80% dan 90% yang berarti nilai ECG dan GSR mengalami kenaikan sesuai dengan kenaikan stres. Sedangkan untuk ST korelasinya hanya 40%. Namun secara keseluruhan berdasarkan hasil fuzzy didapatkan bahwa 100% subjek mengalami peningkatan stres pada saat pengujian metode Stroop Test. Selain itu, hasil deteksi stres dari alat yang telah dibuat dibandingkan dengan hasil survey psikologis untuk memvalidasi hasil akhir, didapatkan akurasi 90% dengan satu hasil salah dan sembilan hasil deteksi benar. Ini menunjukkan bahwa sistem yang diciptakan sudah berjalan dengan baik.

Kata Kunci—Stres, *Electrocardiography*, *Galvanic Skin Response*, *Skin Temperature*, *Fuzzy Logic Controller*.

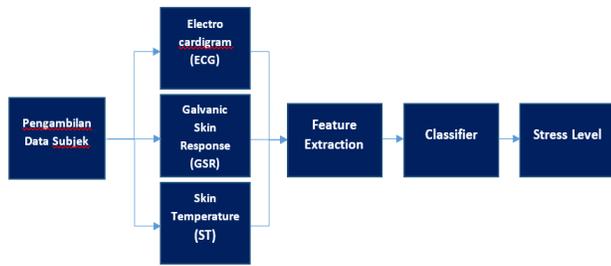
I. PENDAHULUAN

STRES merupakan masalah umum yang terjadi dalam kehidupan umat manusia dan dewasa ini stres merupakan sebuah atribut kehidupan modern. Hal ini dikarenakan stres sudah menjadi bagian hidup yang tidak bisa terelakkan baik di lingkungan sekolah, kerja, keluarga, atau dimanapun, stres bisa dialami oleh seseorang [1]. Stres adalah tekanan internal maupun eksternal serta kondisi bermasalah lainnya dalam kehidupan. Dalam definisi lain stres juga merupakan suatu keadaan tertekan baik itu secara fisik maupun psikologis.

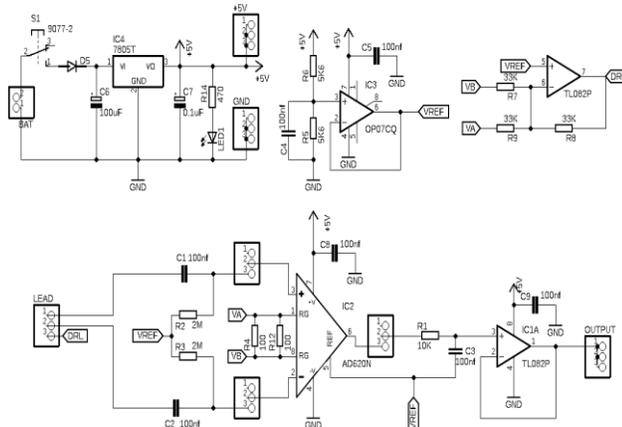
Dalam dunia kesehatan, stres sangat berdampak besar dalam cikal-bakal penyakit yang berbahaya seperti meningkatkan kemungkinan terkena jantung koroner, meningkatkan tekanan darah, dan meningkatkan kemungkinan infark miokard. Bahkan dalam jangka waktu yang lebih lama, stres dapat menyerang tubuh manusia dalam hal penekanan sistem kekebalan tubuh, penghambatan respon inflamasi, infertilitas dan penyakit diabetes [2]. Menurut saintis Hans Selye – the father of stress research yang memperkenalkan teori bahwa stres adalah pangsak dari banyak penyakit [3].

Dalam lingkungan akademik, stres merupakan pengalaman yang paling sering dialami oleh para siswa, baik yang sedang belajar di tingkat sekolah ataupun di perguruan tinggi. Hal tersebut dikarenakan banyaknya tuntutan akademik yang harus dihadapi, misalnya ujian, tugas-tugas, dan lain sebagainya. Sejumlah peneliti telah menemukan bahwa siswa yang mengalami stres akan cenderung menunjukkan kemampuan akademik yang menurun, kesehatan yang memburuk, depresi, dan gangguan tidur [1].

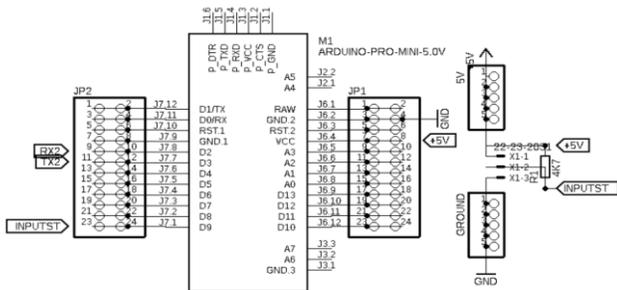
Secara umum alur terjadinya stres berawal dari rangsang yang berasal dari luar dan dalam tubuh yang akan diteruskan pada sistem limbik sebagai pusat pengatur adaptasi. Sistem limbik meliputi thalamus, hipotalamus, amigdala, hippocampus dan septum. Hipotalamus memiliki efek yang sangat kuat pada hampir seluruh sistem *visceral* tubuh kita dikarenakan hampir semua bagian dari otak mempunyai hubungan dengannya. Maka hipotalamus dapat merespon rangsang psikologis dan emosional. Peran hipotalamus terhadap stres meliputi empat fungsi spesifik. Fungsi tersebut adalah; (1) menginisiasi aktivitas sistem saraf otonom; (2) merangsang hipofise anterior memproduksi hormon ACTH; (3) memproduksi ADH atau vasopressin; (4) merangsang kelenjar tiroid untuk memproduksi hormon tiroksin. Maka, situasi stres ini mengaktifasi hipotalamus yang selanjutnya mengendalikan dua sistem neuroendokrin, yaitu sistem simpatik dan sistem korteks adrenal. Sistem saraf simpatik berespons terhadap impuls saraf dari hipotalamus yaitu dengan mengaktifasi berbagai organ dan otot polos yang berada di bawah pengendaliannya, sebagai contohnya, ia meningkatkan kecepatan denyut jantung dan mendilatasi pupil perubahan suhu tubuh, telapak kaki dan tangan terasa dingin hingga keluar keringat pada telapak tangan. Dengan keberadaan stres yang tidak bisa terelakan oleh setiap orang maka dari itu, dirasa perlu



Gambar 1. Diagram blok sistem



Gambar 2. Instrumentasi rancangan ECG



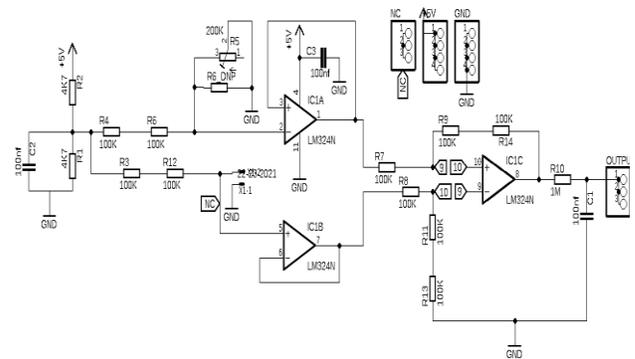
Gambar 3. Arduino pro mini dan sensor DS18B20 instrumentasi ST

untuk menciptakan suatu alat yang dapat mengidentifikasi tingkatan stres. Dewasa ini mengidentifikasi permasalahan stres melalui metode psikologi sudah banyak digunakan. Namun dirasa perlu untuk mengidentifikasi dan mengukur tingkat stres secara fisiologi menggunakan sinyal tubuh seperti *Galvanic Skin Response* (GSR), *Electrocardiograph* (ECG), dan *Skin Temperature* (ST). Instrumentasi tersebut merupakan beberapa prediktor yang dianggap mampu untuk mendeteksi tingkat stres seseorang dengan gabungan metode *fuzzy* yang akan menjadi *decision maker* untuk mengklasifikasikan tingkat stres menjadi beberapa tingkatan.

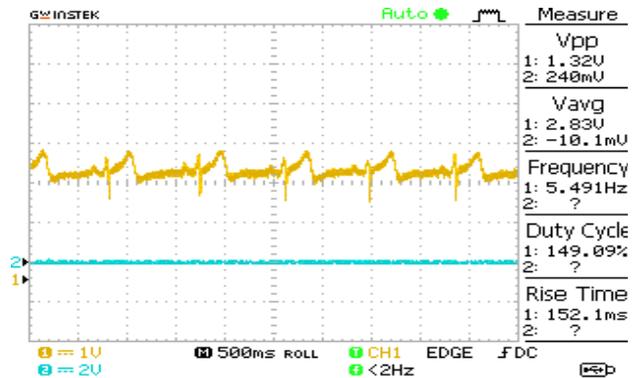
II. PERANCANGAN SISTEM

A. Diagram Blok Sistem

Diagram blok keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 1. Terdapat 3 jenis instrumentasi yang digunakan, yaitu *electrocardiography* (ECG) untuk mendapatkan sinyal jantungnya dan mengukur *Heart Beat*-nya (HB), *skin temperature* (ST) untuk mengukur suhu tubuh (suhu kulit) dan



Gambar 4. Instrumentasi GSR

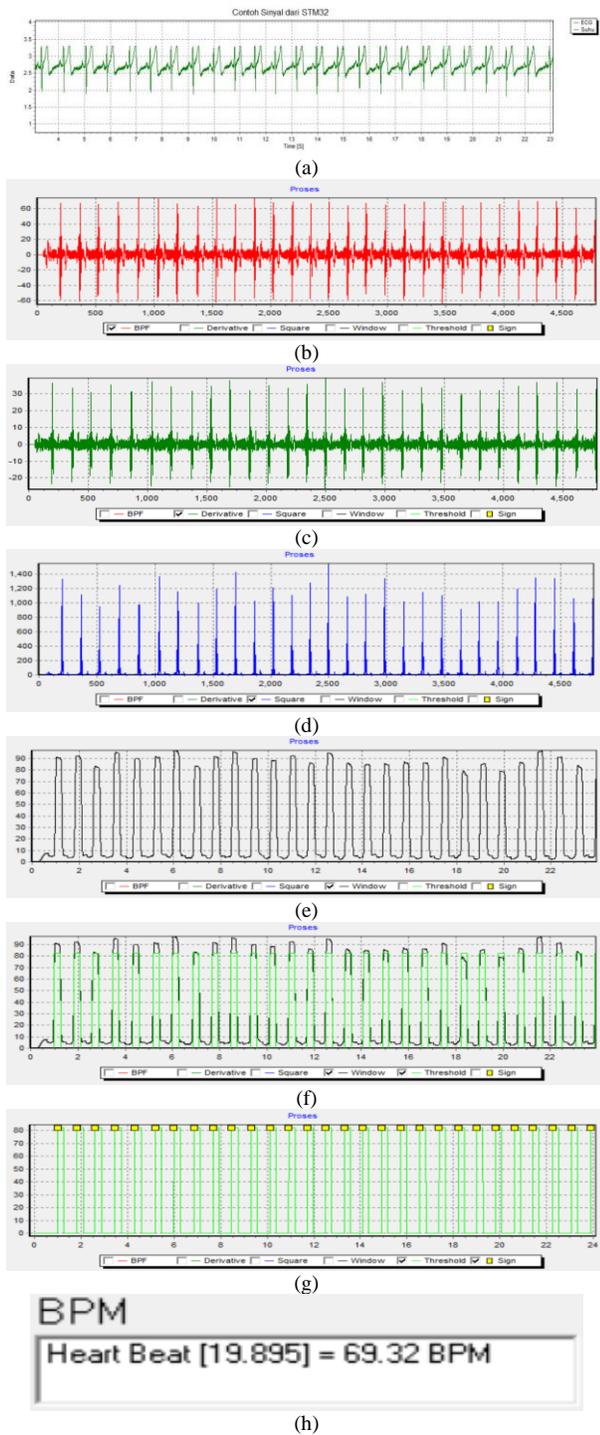


Gambar 5. Hasil output ECG

Galvanic Skin Response (GSR) untuk mengukur konduktivitas kulit manusia. Ketiga instrumentasi ini akan digunakan secara bersamaan untuk mengambil tubuh yang diinginkan. Khusus untuk instrumentasi ECG akan dilakukan proses *feature extraction* terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai HB-nya. *Feature extraction* tersebut menggunakan Metode Pan Tomkins untuk menghasilkan nilai HB dengan beberapa tahap yaitu: filterisasi menggunakan filter BPF, *derivative* untuk melihat *slope* sinyal, *squaring function* untuk menjadikan nilai sinyal menjadi positif, *moving window integration* untuk mendapatkan bentuk sinyal yang lebih mudah dianalisis, *thresholding R-R interval* untuk melakukan seleksi R wave dan menghitung HB. Setelah semua nilai didapatkan, nilai akan menjadi input dari metode *Fuzzy Logic Controller* untuk mendapatkan *decision* subjek dan akan digolongkan menjadi tingkatan stres tertentu. Diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Electrocardiography (ECG)

Electrocardiography (ECG) adalah sebuah alat pencatat aktivitas jantung yang banyak digunakan untuk diagnosis penyakit jantung [4]. ECG mengungkapkan informasi diagnostik yang paling berguna tentang keadaan jantung karena dapat merepresentasikan dalam bentuk gelombang sinyal jantung. ECG digunakan dalam penelitian sebagai salah satu alat monitoring kondisi jantung dan variabel pendukung dianosis. Dari sinyal jantung didapatkan morfologi yang akan diterjemahkan sebagai informasi *heart rate* dan interval QRS dengan menggunakan metode Pan-Tomkins sebagai parameter hasil ekstraksi fitur ECG. Instrumentasi ECG terdiri dari



Gambar 6. (a) Sinyal input ECG hasil ADC, (b) Filter BPF, (c) Derivative, (d) Squaring, (e) Window, (f) Threshold, (g) Sign, (h) Hasil BPM

rangkaian tegangan referensi, rangkaian *High Pass Filter* (HPF), rangkaian instrumentasi amplifier, rangkaian *Low Pass Filter* (LPF), rangkaian *Driven Right Leg* (DRL) dapat dilihat pada Gambar 2. Input dari instrumentasi ECG adalah *raw signal* yang didapatkan dari tubuh manusia melalui lead. Hasil output ECG dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 1.
Rules heartbeat rendah

GSR/ST	R	S	C	T
R	S	S	R	R
S	S	S	S	R
C	C	S	S	S
T	C	C	S	S

Tabel 2.
Rules heartbeat sedang

GSR/ST	R	S	C	T
R	S	S	S	R
S	C	S	S	S
C	C	C	S	S
T	C	C	C	S

Tabel 3.
Rules heartbeat cukup

GSR/ST	R	S	C	T
R	C	S	S	S
S	C	C	S	S
C	C	C	C	S
T	T	C	C	C

Tabel 4.
Rules heartbeat tinggi

GSR/ST	R	S	C	T
R	C	C	S	S
S	C	C	C	S
C	T	C	C	C
T	T	T	C	C

Ket. R : Rendah, S : Sedang, C : Cukup, T : Tinggi

C. *Skin Temperature (ST)*

Suhu tubuh atau temperatur tubuh adalah perbedaan antara jumlah panas yang diproduksi oleh proses tubuh dan jumlah panas yang hilang ke lingkungan luar. Temperatur tubuh manusia dapat diukur dengan menggunakan termometer. Pada perancangan hardware ini akan digunakan sensor temperatur DS18B20 yang ditempelkan di ketiak manusia. Pemilihan sensor temperature DS18B20 didasari oleh keunggulan yang dimilikinya, antara lain sebagai berikut: Unik 1-Wire interface hanya memerlukan satu pin port untuk komunikasi secara 1-Wire, setiap perangkat memiliki kode serial 64-bit yang disimpan dalam sebuah ROM onboard, tidak memerlukan ada komponen tambahan, bekerja pada kisaran tegangan 3 sampai 5,5V, dapat mengukur suhu pada kisaran -55 sampai 125 °C, Akurasi ± 0,5°C akurasi dari suhu -10 sampai 85 °C, resolusi dapat dipilih oleh pengguna antara 9 sampai 12 bit (0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, dan 0.0625°C), kecepatan mengkonversi suhu maksimal 750 ms [5].

Selain itu pada penerapannya digunakan juga mikrokontroler tambahan untuk memudahkan pembacaan data sensor yaitu dengan menggunakan arduino pro mini. Mikrokontroler ini nantinya yang membantu perhitungan atau pemrosesan data dari hardware DS18B20 hingga didapatkan nilai suhu dalam satuan *Celsius* dapat dilihat pada Gambar 3.

Table 5.
Nilai membership function setiap variabel

Level	Rendah	Sedang	Cukup	Tinggi
ECG	60.00	72.94±9.64	81.38±9.98	90.55±10.6
BPM		BPM	BPM	9 BPM
GSR	< 2	3 – 4	5 – 6	7 – 10
ST	34°-38 °C	30°-34° C	26°-30° C	< 26° C

Tabel 6.
Perbandingan HB

Percobaan	Finger Pulse Oximeter	ECG	Error
Subjek 1	87	86.7	0.3
Subjek 2	78	79.3	1.3
Subjek 3	72	72.34	0.34
Subjek 4	82	81.16	0.84
Subjek 5	92	93.98	1.98
Error Total			0.952

Tabel 7.
Hasil pengujian ST

Percobaan	Termometer	DS18B20	Error	
Subyek 1	Ketiak 1	35.8° C	35.4° C	0.4
	Genggam 1	34.7° C	34° C	0.7
Subyek 2	Ketiak 2	36.1° C	35.7° C	0.4
	Genggam 2	35.4° C	34.7° C	0.7
Subyek 3	Ketiak 3	36° C	35.5° C	0.5
	Genggam 3	35.9° C	35.5° C	0.4
Error Total	Ketiak		0.43	
	Genggam		0.6	

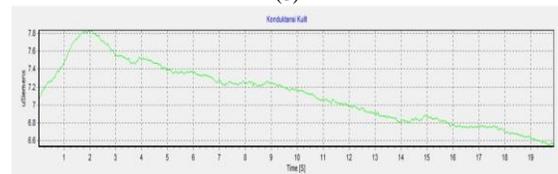
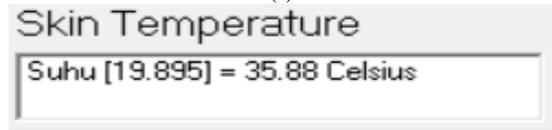
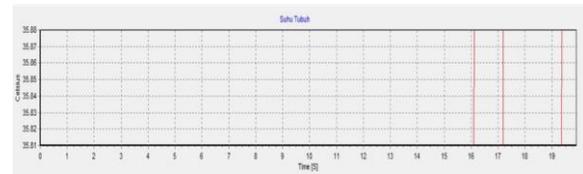
Tabel 8.
Perbandingan konduktansi

Resistor Ohm	Tegangan V	Konduktansi uSiemens
100K	0.802	10
220K	0.132	4.54
330K	0.62	3.03
470K	1	2.12
560K	1.18	1.78
680K	1.36	1.47
820K	1.51	1.21
1M	1.66	1
2M	2.03	0.5
3M	2.18	0.33

D. Galvanic Skin Response (GSR)

Galvanic Skin Response (GSR) adalah salah satu dari beberapa tanggapan elektrodermal (EDRs). EDRs adalah perubahan sifat listrik dari kulit seseorang yang disebabkan oleh interaksi antara lingkungan dan keadaan psikologis individu. Kulit manusia adalah konduktor listrik yang baik dan ketika arus listrik lemah dikirimkan ke kulit, perubahan konduksi kulit sinyal yang dapat diukur. Variabel yang diukur adalah resistensi atau timbal balik dan konduktansinya. Output dari GSR amplifier adalah konduktansi kulit dinyatakan dalam satuan yang disebut microSiemens.

Rangkaian ini terdiri dari rangkaian pembagi tegangan, rangkaian *voltage follower* dan rangkaian *differential amplifier* atau *op-amp subtractor*. Untuk memudahkan pengambilan data dan mencegah hal-hal yang tidak diinginkan maka dapat menggunakan modul GSR. Skematik pada Gambar 4 juga sudah



Gambar 7. (a). Grafik input ST, (b). Nilai Celsius, (c). Grafik sinyal GSR, (d). Nilai Konduktansi

sesuai dengan modul GSR sehingga baik *output* rangkaian dari skematik GSR ataupun modul akan memiliki nilai yang sama.

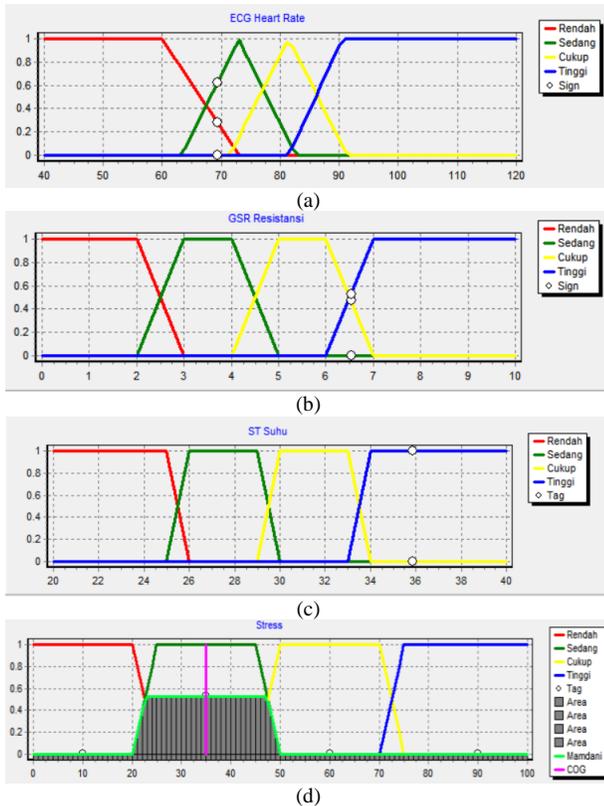
E. Galvanic Skin Response (GSR)

Software dirancang sesuai diagram blok pada Gambar 1 dengan menggunakan 3 input yang didapat dari ECG, GSR dan ST. Dari setiap inputan akan diproses menggunakan microcontroller STM32 yang berfungsi sebagai *analog to digital converter* (ADC).

F. Pan-Tomkins

Feature extraction secara eksplisit memberikan indeks stres dari sinyal fisiologis. Sinyal ECG langsung dinilai dengan menggunakan algoritma pencari puncak yang umum digunakan untuk mendapatkan interval R-R [4]. Proses *feature extraction* dilakukan untuk mengekstraksi setiap parameter yang dapat dihasilkan oleh 2 input dengan menggunakan metode Pan-Tomkins yang memiliki beberapa tahap dalam pemrosesannya seperti: *filtering, derivative, squaring function, moving window integration, thresholding, R-R interval* [4].

Filter merupakan metode yang bertujuan untuk mengatasi *noise* sehingga perlu dilakukan untuk memperbaiki kualitas sinyal gelombang QRS. Salah satunya adalah dengan *filtering* gelombang baik secara linear maupun secara non - linear. Bandpass filter merupakan salah satu *filtering* linear yang berfungsi untuk memperhalus dan menghilangkan *noise* pada suatu sinyal yang bekerja dengan menggantikan intensitas nilai *pixel* dengan rata-rata dari nilai *pixel* tersebut terhadap nilai *pixel* tetangganya. *Bandpass filter* telah digunakan secara luas untuk memperhalus dan mengembalikan bagian dari citra yang mengandung *noise* yang berbentuk titik putih dan *noise-noise*



Gambar 8. Hasil fuzzifikasi (a). Miu ECG, (b) Miu resistansi, (c) Miu suhu, (d) Hasil fuzzy

yang lainnya. *Bandpass filter* terdiri dari 2 filter yang beriringan yaitu *Highpass Filter* dan *Lowpass Filter* yang dapat dihitung menggunakan persamaan (3.6) dan (3.7).

$$y(nT) = 32x(nT - 16T) - [y(nT - T) + x(nT) - x(nT) - x(nT - 32T)] \tag{3.6}$$

$$y(nT) = 2y(nT - T) - y(nT - 2T) + x(nT) - 2x(nT - 6T) + x(nT - 12T) \tag{3.7}$$

Derivative adalah tahap dimana sinyal yang telah difilter akan diproses sehingga lebih terlihat *slope*-nya untuk mempermudah dalam menganalisis QRS kompleks dalam pembagian P, QRS dan T. *Derivative* dapat dihitung menggunakan persamaan (3.8).

$$y(nT) = (1/8T)[-x(nT - 2T) - 2x(nT - T) + 2x(nT + T) + x(nT + 2T)] \tag{3.8}$$

Squaring function adalah metode yang membuat seluruh sinyal outputan dari tahap derivative bernilai positif dengan memangkatkan sinyal inputan tersebut. *Squaring function* dapat dihitung menggunakan persamaan (3.9).

$$Y(nT) = [x(nT)]^2 \tag{3.9}$$

Moving window integration adalah metode yang bertujuan untuk mendapatkan bentuk yang memiliki informasi dan

Table 9.

Hasil pengambilan data sebelum *stroop test*

Nama	ECG BPM	GSR uSiemens	ST Celsius	Stres				COG
				R	S	C	T	
Subjek 1	106.4	1.61	36.19	0	0.3	0.6	0	50.3
Subjek 2	82.23	4.84	36.69	0	0.8	0.1	0	37.6
Subjek 3	69.03	6.53	35.88	0	0.5	0	0	35
Subjek 4	77.92	0.67	34.81	0.4	0.6	0	0	25.7
Subjek 5	67.95	3.7	34.63	0.3	0.4	0	0	25.4
Subjek 6	83.56	3.92	31.94	0	0.7	0.1	0	36.8
Subjek 7	69.6	7.99	35.19	0	0.6	0	0	35
Subjek 8	79.95	1.06	32.5	0.2	0.8	0	0	29.8
Subjek 9	86.63	0.93	34.13	0	0.5	0	0	35
Subjek 10	73.58	1.22	34.69	0.9	0.2	0	0	16.3

Table 10.

Hasil pengambilan data sesudah *stroop test*

Nama	ECG BPM	GSR uSiemens	ST Celsius	Stres				COG
				R	S	C	T	
Subjek 1	100.8	5.39	34.38	0	0	1	0	60
Subjek 2	87.02	4.44	36.44	0	0.5	0.4	0	46.2
Subjek 3	73.35	9.81	32.88	0	0.9	0.2	0	39.5
Subjek 4	81.54	7	35.31	0	0.1	0.9	0	57.3
Subjek 5	77.06	5.83	33.13	0	0.5	0	0	35
Subjek 6	88.29	4.36	34.31	0	0.6	0.3	0	44.3
Subjek 7	72.7	12.32	35.88	0	0.9	0.1	0	38.1
Subjek 8	90.24	3.56	36.25	0	0.9	0	0	35
Subjek 9	84.67	3.17	36.13	0	0.6	0	0	35
Subjek 10	79.98	2.68	36.06	0.2	0.6	0	0	29.0

membantu dalam menganalisis *slope* pada R. *Moving window integration* dapat dihitung menggunakan persamaan (3.10).

$$y(nT) = (1/N)[x(nT - (N - 1)T) + x(nT - (N - 2)T) + \dots + x(nT)] \tag{3.10}$$

Thresholding adalah metode yang digunakan untuk melakukan seleksi terhadap R wave yang akan diambil untuk melakukan perhitungan *heart beat*. Selain itu *thresholding* bertujuan menghitung interval setiap grafik yang melewati batas yang telah ditentukan dan mengambil rata-ratanya sehingga mendapatkan *heart beat* yang diinginkan. *Heart beat* dapat dihitung menggunakan persamaan (3.11).

$$TotalQRSx \frac{60 \text{ detik}}{\frac{\text{jumlah data}}{\text{frekuensi sampling}}(\text{detik})} \text{ bpm} \tag{3.11}$$

Table 11.
Hasil pengambilan data menggunakan survey

Nama	Stres				Stres
	R	S	C	T	
Subjek 1	0	25	75	0	C
Subjek 2	20	70	10	0	S
Subjek 3	15	50	35	0	S
Subjek 4	5	50	35	10	S
Subjek 5	15	65	20	0	S
Subjek 6	10	80	10	0	S
Subjek 7	5	75	10	10	S
Subjek 8	0	80	20	0	S
Subjek 9	10	60	25	5	S
Subjek 10	35	50	10	5	S

Table 12.
Hasil pengambilan data menggunakan sistem

Nama	Stres				COG	Stres
	R	S	C	T		
Subjek 1	0	0.38	0.61	0	50.35	C
Subjek 2	0	0.84	0.09	0	37.6	S
Subjek 3	0	0.53	0	0	35	S
Subjek 4	0.48	0.65	0	0	25.73	S
Subjek 5	0.38	0.48	0	0	25.49	S
Subjek 6	0	0.78	0.06	0	36.85	S
Subjek 7	0	0.65	0	0	35	S
Subjek 8	0.27	0.85	0	0	29.82	S
Subjek 9	0	0.57	0	0	35	S
Subjek 10	0.93	0.21	0	0	16.32	R

Keterangan:

R : Rendah, S : Sedang, C : Cukup, T : Tinggi

G. Fuzzy Logic Controller (FLC)

Pada penelitian kali ini, digunakan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) sebagai metode *decision making* untuk menentukan seseorang mengalami tingkatan stres tertentu. Variabel yang mempengaruhi pengambilan keputusan tersebut antara lain: *Beat Per Minute* (BPM) jantung (ECG), resistansi atau konduktivitas kulit (GSR) dan suhu tubuh manusia dalam *celsius* (ST). *Membership function* dari 3 variabel tersebut dapat dilihat pada Tabel 5 dan dalam bentuk tampilan program. Selain itu, salah satu komponen penting dalam penggunaan metode *fuzzy* adalah *rules*. *Rules* dari ketiga variabel tersebut yang tiap variabelnya memiliki 4 klasifikasi menghasilkan *rules* yang banyak pula. Didapatkan total 64 *rules* dari variasi kemungkinan pengambilan keputusan untuk metode *fuzzy* seperti pada Tabel 1 – Tabel 4. Sebelum itu dalam penentuan *membership function* dibutuhkan acuan sehingga dapat membantu dalam perbuatannya. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

H. Metode Validasi

Metode pengujian untuk memvalidasi hasil tingkatan stres pada subjek dan pengaruh variabel yang digunakan terhadap stres pada manusia menggunakan metode *Stroop Test*. Metode *stroop test* adalah metode yang ditemukan oleh ahli psikologi yaitu John Ridley Stroop pada tahun 1935. Tes ini berisi tulisan yang setiap katanya memiliki warna yang berbeda.

Tujuan dari tes ini untuk mengukur pengaruh dari subjek yang diberikan uji *stroop test* sebelum dan sesudahnya. Karena *stroop test* merupakan metode yang telah banyak diketahui

untuk menginduksi tekanan mental. Dalam praktiknya subjek terlebih dahulu menggunakan alat untuk mendeteksi tingkatan stresnya. Lalu setelah penggunaan alat pertama selesai subjek akan diberikan *stroop test* beberapa menit dan kemudian diambil lagi data tingkatan stresnya untuk dilihat apakah ada perubahan sebelum dan sesudah diberikan *stroop test*. Setelah data terkumpul akan dilakukan analisis terkait validasi data yang didapatkan dengan pengujian *stroop test* ini.

Metode *stroop test* juga dirancang sedemikian rupa dengan memberikan tingkatan dalam pengujiannya yaitu mudah sedang susah. Mudah adalah soal dengan jeda 5 detik, sedang dengan jeda 3 detik dan susah dengan jeda 1 detik untuk setiap soalnya. Lama pengujiannya kurang lebih 5 menit. Subjek dituntut untuk menjawab soal dengan tepat, cepat dan melafalkannya dengan suara yang jelas. Selain metode *stroop test* dilakukan juga survey dengan memberikan pertanyaan kepada calon subjek yang bertujuan untuk mengetahui kondisi psikologisnya saat itu. Dan didapatkan indikasi stres berdasarkan jawaban dari 20 soal yang diberikan. Metode survey ini dilakukan agar menjadi pembandingan hasil yang didapatkan oleh alat pada tugas akhir kali ini.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian ECG

Pengujian output ini bertujuan untuk melihat hasil dari rangkaian ECG secara keseluruhan sudah bekerja dengan baik atau belum. Output yang diharapkan adalah sinyal jantung yang memiliki karakteristik gelombang PQRST secara lengkap. Output rangkaian ECG dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 6 adalah hasil perbandingan nilai HB yang didapat dari finger pulse oximeter dan instrumentasi ECG.

B. Pengujian ST

Pengujian rangkaian *Skin Temperature* dilakukan dengan membandingkan secara langsung hasil dari rangkaian ST dengan termometer suhu badan. Pengambilan data didapat dari beberapa subjek yang diukur dari dua tempat pengukuran yaitu di ketiak dan di genggaman tangan. Hasil data pengujian dapat dilihat pada Tabel 7.

C. Pengujian GSR

Pengujian GSR dilakukan dengan cara memberikan *input* berupa resistor yang bervariasi lalu dilakukan pengukuran terhadap *output* sehingga didapatkan nilai tegangannya. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 8.

D. Pengujian Integrasi Seluruh Sistem

Setelah semua nilai didapatkan maka akan dilakukan proses integrasi seluruh sistem. Namun untuk nilai HB terlebih dahulu sinyal ECG yang harus diproses untuk mendapatkan nilai HB-nya. Proses tersebut menggunakan metode Pan-Tomkins yang setiap tahapan prosesnya dapat dilihat pada Gambar 6. Setelah didapatkan seluruh nilai variabel seperti pada Gambar 7 maka akan dilanjutkan ke tahap integrasi dengan menggunakan metode *fuzzy*. Semua nilai variabel nantinya akan menjadi input untuk menentukan bahwa subjek berada pada tingkatan stres tertentu. Lalu didapatkan hasil dari fuzzifikasi, *miu* dari tiap

variabel hingga output *fuzzy* keseluruhan yang berupa diagnosis tingkatan stres pada manusia seperti pada Gambar 8.

Dari program yang telah diujicobakan dapat dilakukan beberapa analisis. Untuk *membership function* ECG didapatkan nilai masukan sebesar 69.32 BPM yang didapatkan dari perhitungan instrumentasi yang telah dibuat. Jika digolongkan dalam *membership function* dari ECG heart beat didapatkan spesifikasi posisi berupa: 0.27 rendah, 0.62 sedang, 0 cukup dan 0 tinggi. Spesifikasi tersebut menunjukkan bahwa dengan nilai heart beat subjek memiliki tingkat 0.62 dominan sedang, 0.27 rendah, 0 untuk tingkat stres cukup dan tinggi. 2 nilai tingkatan stres terisi disebabkan irisan pada *membership function* namun bisa dihipotesiskan bahwa dengan variabel heart beat ECG ini subjek diidentifikasi memiliki kecenderungan stres sedang. Untuk *membership function* ST didapatkan nilai masukan sebesar 35.88° C yang didapatkan dari perhitungan instrumentasi yang telah dibuat. Jika digolongkan dalam *membership function* dari ST temperatur didapatkan spesifikasi posisi berupa: 0 rendah, 0 sedang, 0 cukup dan 1 tinggi. Spesifikasi tersebut menunjukkan bahwa dengan nilai temperatur subjek memiliki tingkat kestressan 1 dominan rendah, 0 sedang, 0 cukup dan 0 untuk tingkat stres tinggi. Nilai 1 suhu tinggi didapatkan karena *membership function* yang bersangkutan tidak terjadi irisan dengan *membership function* lainnya sehingga nilainya mutlak 1 yang berarti subjek memiliki tingkat stres rendah. Untuk *membership function* GSR didapatkan nilai masukan sebesar 6.53 yang didapatkan dari perhitungan instrumentasi yang telah dibuat. Jika digolongkan dalam *membership function* dari GSR resistansi didapatkan spesifikasi posisi berupa: 0 rendah, 0 sedang, 0.47 cukup dan 0.53 tinggi. Spesifikasi tersebut menunjukkan bahwa dengan nilai resistansi subjek memiliki tingkat kestressan 0 rendah, 0 sedang, 0.47 cukup dan 0.53 untuk dominan tingkat stres tinggi. 2 nilai tingkatan stres terisi disebabkan irisan pada *membership function* rendah dan sedang beririsan di nilai 6.53 sehingga dapat dihipotesiskan bahwa dengan variabel resistansi GSR diidentifikasi memiliki kecenderungan stres tinggi 0.53 lebih besar dari 0.47.

Setelah semua nilai dimiliki (nilai mui rendah, mui sedang, mui cukup, mui tinggi) maka akan lanjut ke tahap selanjutnya yaitu implikasi dan agregasi. Tahap implikasi adalah membuat *rules* yang pada metode ini menggunakan metode Mamdani. *Rules* telah dibuat dan dapat dilihat pada Tabel 1 – Tabel 4 yang dapat dibandingkan dengan hasil akhir tingkatan stres untuk mengetahui kebenarannya. Agregasi adalah tahap untuk memproses *rules*, hasil agregasi dan mamdani dapat dilihat pada Gambar 8 (d). Grafik arsir adalah hasil agregasi yang sesuai dengan *if-then rules* yang didapat dari nilai mui setiap variabel. Bila dicocokkan dari *membership* dan nilai mui dengan *rules* yang telah dibuat, jika ECG adalah sedang dan GSR adalah tinggi dan ST adalah tinggi maka *OUTPUT* adalah sedang (0.53). Maka hasil yang ditampilkan pada Gambar 8 sesuai dengan *rules* pada Tabel 2. selain itu jika disesuaikan dengan COG yang dihasilkan hasilnya tepat yaitu 35 pada sumbu x.

E. Pengujian Integrasi Seluruh Sistem

Untuk hasil pengujian menggunakan metode *stroop test* dengan banyak subjek 10 orang didapatkan hasil yang cukup memuaskan. Jika dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10 dapat kita amati beberapa variabel, salah satunya adalah variabel hasil atau COG. Nilai COG adalah nilai tingkatan stres yang menunjukkan indikasi stres dari subjek. Terdapat perbedaan dari hasil sebelum dan sesudah diuji coba. Sebagai contoh subjek 2 pada saat sebelum diberikan *stroop test* didapatkan hasil 37.6 dan 46.24 COG setelah dilakukan *stroop test*. Untuk subjek 5 sebelum diberikan *stroop test* didapatkan hasil 25.49 dan 60 COG setelah dilakukan *stroop test*. Begitu juga dengan subjek lainnya, hasil yang didapatkan setelah melakukan *stroop test* cenderung memiliki kenaikan pada saat stres.

Untuk variabel ECG pada subjek 2 memiliki nilai 82.23 BPM sebelum dan 87.02 BPM sesudah *stroop test*. Untuk subjek 5 didapatkan nilai 50.35 BPM sebelum dan 35 BPM setelah *stroop test*. Begitu juga dengan subjek lainnya hasil yang didapatkan setelah melakukan *stroop test* cenderung memiliki kenaikan pada saat stres. Untuk variabel GSR pada subjek 2 didapatkan nilai 4.84 uSiemens sebelum dan 4.44 uSiemens sesudah *stroop test*. Sedangkan untuk subjek 5 didapatkan 3.57 uSiemens sebelum dan 5.83 sesudah *stroop test*. Pada subjek 2 untuk sebelum dan sesudah tes nilai yang didapatkan mengalami penurunan namun jika disesuaikan kembali pada *membership function* nilai tersebut masih berada pada klasifikasi yang sama yaitu stres “sedang” sehingga walaupun mengalami penurunan namun masih di dalam klasifikasi yang sama. Sedangkan untuk subjek 5 hasil yang didapatkan masih sesuai teori mengalami kenaikan setelah pengujian *stroop test*.

Variabel ST untuk subjek 2 memiliki nilai 36.69 *celsius* sebelum dan 36.44 sesudah *stroop test*. Sedangkan subjek 5 memiliki nilai 34.63 *celsius* sebelum dan 33.13 *celsius* sesudah *stroop test*. Untuk 2 variabel ini memiliki kesesuaian dengan teori karena untuk variabel ST memiliki kecenderungan nilai turun jika subjek mengalami kenaikan tingkatan stres. Secara keseluruhan dapat kita lihat pada Tabel 9 dan Tabel 10 nilai sebelum dan sesudah *stroop test* untuk variabel ECG secara keseluruhan sesuai dengan teori yang berarti mengalami kenaikan BPM dengan tingkat korelasi 80% setelah diberikan uji coba *stroop test* begitu juga variabel GSR yang hampir keseluruhan nilai sesuai dengan teori dengan tingkat korelasi 90%. Berbeda dengan variabel ST, hasil yang didapatkan memiliki korelasi yang rendah yaitu 40%, cenderung tidak sesuai karena suhu mengalami kenaikan. Kemungkinan disebabkan kesalahan pengambilan data ketika jeda uji *stroop test*. Kebanyakan dari subjek tidak melepas sensor suhu dari ketiak sedangkan sensor-sensor yang lain dilepaskan. Namun secara umum hasil akhir COG memiliki kesesuaian 100% dengan teori yang mengalami kenaikan setelah dilakukan uji coba *stroop test*. Selain itu metode validasi menggunakan survey yang dibandingkan dengan hasil deteksi stres sistem pada Tabel 11 dan Tabel 12 juga memiliki kesesuaian yang tinggi. Dari Tabel 10 subjeknya subjek ke-10 yang tidak sesuai dengan hasil survey. Hasil survey menunjukkan deteksi sedang sedangkan

pada sistem mendeteksi rendah. Ketidaksesuaian ini bisa saja terjadi dikarenakan ketidakmaksimalan dalam pengambilan data, psikologi subjek yang terlalu cepat berubah dan lain sebagainya. Namun, jika dipresentasikan kesesuaian hasil validasi antara metode survey dan sistem memiliki nilai 90%. Nilai ini sudah cukup tinggi untuk menunjukkan bahwa sistem yang diciptakan sudah berjalan dengan sangat baik.

IV. KESIMPULAN

Pada tugas akhir ini diajukan sebuah instrumentasi alat yang dapat mengidentifikasi tingkatan stres menjadi 4 level dengan menggunakan 3 variabel. Instrumentasi alat ECG dan ST memiliki nilai *error* 0.9 BPM dan 0.4°C sehingga data yang didapatkan bisa dipertanggungjawabkan. Terlebih untuk instrumentasi ECG berhasil memunculkan sinyal jantung dengan tingkat kejernihan sinyal yang tinggi terbukti dengan morfologi sinyal ECG yang sangat jelas.

Penggunaan metode *Fuzzy* sangat berguna untuk menentukan pengambilan keputusan dengan data-data *crisp*. Dari pengambilan data 10 subjek dilakukan pengujian menggunakan metode *Stroop Test*, hasilnya variabel ECG dan GSR memiliki korelasi yang tinggi sekitar 80% dan 90% yang berarti nilai ECG dan GSR mengalami kenaikan sesuai dengan kenaikan stres. Sedangkan untuk ST korelasinya hanya 40%.

Namun secara keseluruhan berdasarkan hasil *fuzzy* didapati bahwa 100% subjek mengalami peningkatan stres pada saat pengujian metode *Stroop Test*. Hasil deteksi stres dari alat yang telah dibuat dibandingkan dengan hasil survey psikologis untuk memvalidasi hasil akhir memiliki akurasi 90% dengan satu hasil salah dan sembilan hasil deteksi benar. Ini menunjukkan bahwa sistem yang diciptakan sudah berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. T. Lumban Gaol, "Teori Stres: Stimulus, Respons, dan Transaksional," *Bul. Psikol.*, vol. 24, no. 1, p. 1, 2016, doi: 10.22146/bps.11224.
- [2] L. Vanitha and G. R. Suresh, "Hierarchical SVM to Detect Mental Stress in Human Beings Using Heart Rate Variability," *Proc. IEEE Int. Caracas Conf. Devices, Circuits Syst. ICCDCS*, no. October, 2014, doi: 10.1109/ICDCSyst.2014.6926145.
- [3] L. Vanitha and G. R. Suresh, "Hybrid SVM Classification Technique to Detect Mental Stress in Human Beings Using ECG signals," in *ICACCS 2013 - Proceedings of the 2013 International Conference on Advanced Computing and Communication Systems: Bringing to the Table, Futuristic Technologies from Around the Globe*, Oct. 2014, doi: 10.1109/ICACCS.2013.6938735.
- [4] K. Soman, A. Sathiya, and N. Suganthi, "Classification of Stress of Automobile Drivers using Radial Basis Function Kernel Support Vector Machine," in *2014 International Conference on Information Communication and Embedded Systems, ICICES 2014*, Feb. 2014, pp. 1–5, doi: 10.1109/ICICES.2014.7034000.
- [5] Maxim, "Maxim DS18B20 thermometer," vol. 92, pp. 1–22, 2008, [Online]. Available: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.