TUGAS LAMPU GESER

Oleh:
Sidartha Prastya. P - 13219033

INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
2022

DAFTAR ISI

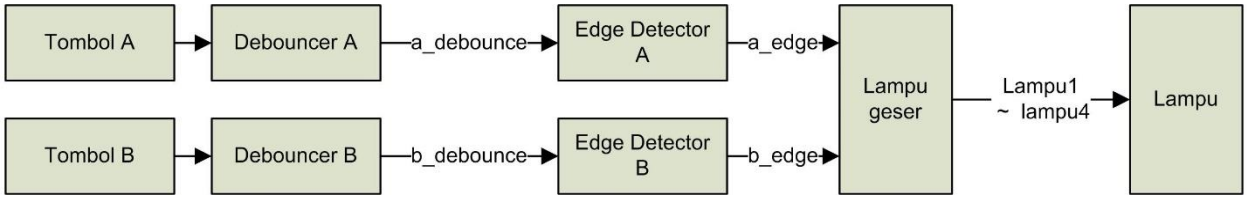
DAFTAR GAMBAR

1 Desain Sistem

Pada tugas “Lampu Geser” terdapat beberapa spesifikasi yang harus dipenuhi, yaitu:

- Terdapat 4 buah LED yang berperan sebagai output.
- Terdapat 2 buah tombol input: kiri dan kanan.
- Dalam satu waktu, hanya ada sebuah LED yang menyala.
- Jika tombol kiri ditekan, maka LED yang menyala bergeser ke kiri.
- Jika tombol kanan ditekan, maka LED yang menyala bergeser ke kanan.
- Sistem dilengkapi dengan *debouncing*.
- Sistem dilengkapi dengan *edge detector* sehingga nyala LED tidak berpindah walau tombol ditahan.
- Sistem dibuat secara sinkron *(time triggered).*
- Sistem dibuat dengan menggunakan *cascade composition.*

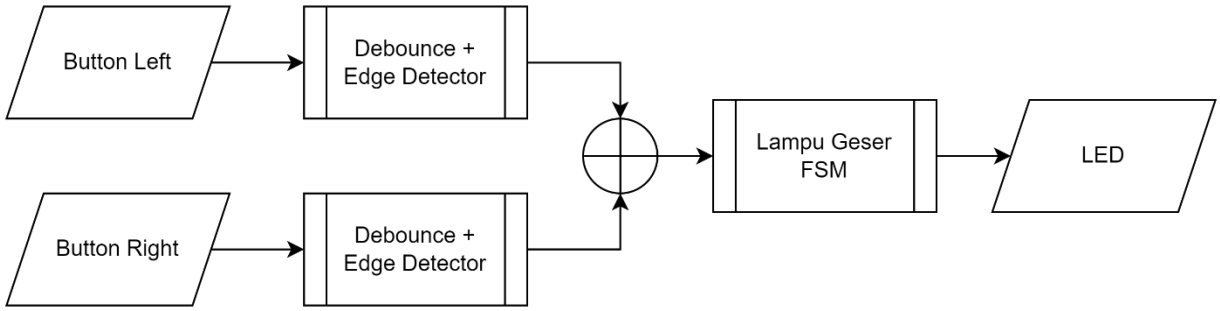
Secara umum, sistem dapat digambarkan dengan diagram blok berikut.



Gambar 1. Blok diagram spesifikasi sistem

Pada diagram di atas, terlihat bahwa masing-masing tombol memiliki *debouncing* secara terpisah. Setelah melalui *debouncing*, maka sinyal masukan akan dideteksi dengan menggunakan *edge detector* untuk mendeteksi adanya masukan pada tombol. Hasil tersebut kemudian dimasukkan ke fsm lampu geser yang kemudian akan menghasilkan keluaran berupa posisi lampu yang menyala.

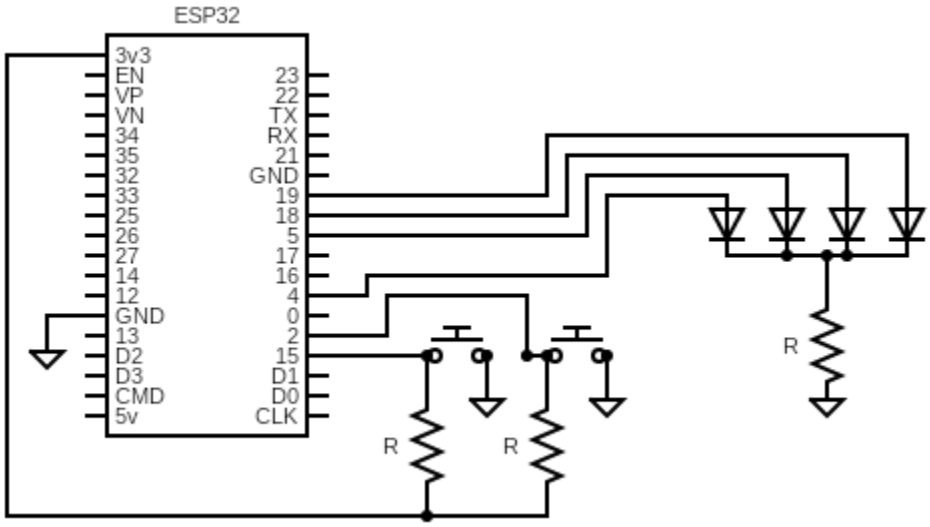
Pada tugas ini, untuk *debouncer* dan *edge detector* dibuat di dalam satu modul yang sama. Tombol kiri dideteksi sebagai -1 dan kanan sebagai 1. Kedua tombol kemudian dijumlahkan yang akan menghasilkan sebuah input untuk lampu geser. Apabila kedua tombol ditekan bersamaan, maka akan memberikan input 0. Berikut adalah gambar sistem yang digunakan.



Gambar 2. Blok diagram sistem yang digunakan

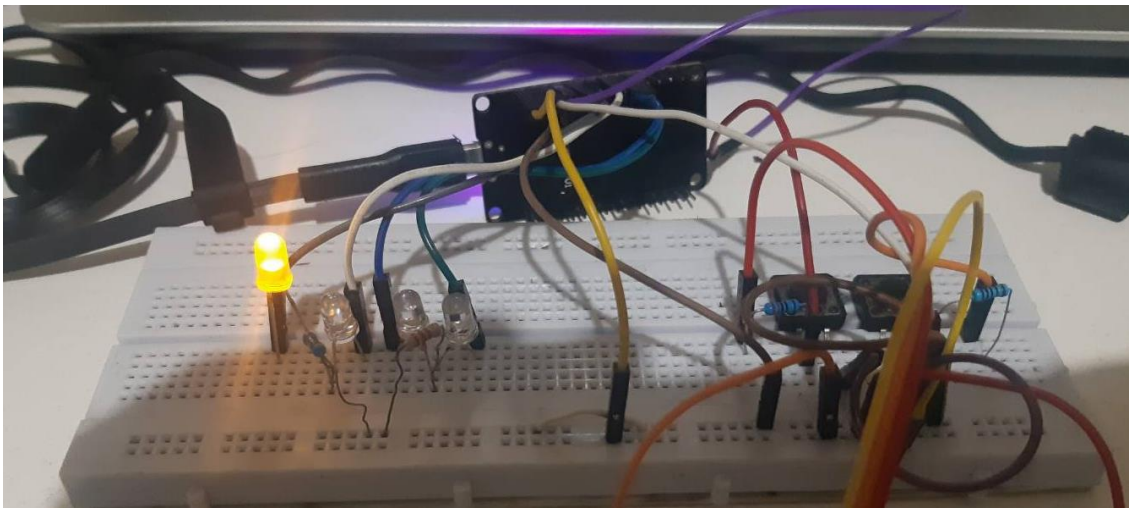
2 Implementasi Hardware

Pada tugas lampu geser, digunakan sebuah mikrokontroler, 2 buah input *push button*, dan 4 buah *output* LED. Berikut adalah ilustrasi skematik yang digunakan pada implementasi *hardware.*



Gambar 3. Skematik rangkaian yang digunakan dalam implementasi

Pada implementasi digunakan input berupa *push button pullup* yang akan bernilai 1 ketika tidak ditekan dan bernilai 0 ketika ditekan. Kemudian, output LED bersifat *common ground*. Masing-masing LED dihubungkan dengan pin GPIO pada ESP32. Lampu akan menyala ketika diberi nilai HIGH dan mati ketika LOW. Berikut adalah rangkaian yang dibuat.



Gambar 4. Foto rangkaian yang dibuat

3 Implementasi Software

Pada tugas ini hanya digunakan sebuah mikrokontroler sehingga hanya terdapat satu jenis *software*. Terdapat 2 bagian utama pada program, yaitu program utama dan FSM. Pada FSM terdapat 2 modul, yaitu modul *debouncer* dan *edge detector* serta modul lampu geser. Kemudian, keduanya dijalankan di dalam program utama. FSM dijalankan di dalam suatu interupsi *timer* sehingga dijalankan dalam frekuensi yang konstan. Input *button* diterima secara terus-menerus, tetapi nilainya baru digunakan setelah interupsi *timer* terjadi, sehingga sistem menjadi *time triggered*. Program yang dibuat dikompilasi dengan menggunakan ESP-IDF.

Berikut adalah *source code* yang digunakan pada "fsm.h".

```
#ifndef FSM_H
#define FSM_H

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>

#define STATE_1    0
#define STATE_2    1
#define STATE_3    2
#define STATE_4    3

#define STATE_DETECT    4
#define STATE_DEBOUNCE_IN  5
#define STATE_HOLD      6
#define STATE_DEBOUNCE_OUT  7


void lampu_geser(int *button_debouncer, int *state_geser, int *led){
    // if(counter > 2){
        switch (*state_geser){
            case STATE_1:
            if(*button_debouncer == 1){       // Tombol kanan
                *state_geser = STATE_2;
                led[0] = 0;
                led[1] = 1;
                led[2] = 0;
                led[3] = 0;
                *button_debouncer = 0;
                // *counter = 0;

            }
            else if(*button_debouncer == -1){ // tombol kiri
                *state_geser = STATE_4;
```

```
                led[0] = 0;
                led[1] = 0;
                led[2] = 0;
                led[3] = 1;
                *button_debouncer = 0;
            }
            else{
                led[0] = 1;
                led[1] = 0;
                led[2] = 0;
                led[3] = 0;
            }
            break;

        case STATE_2:
            if(*button_debouncer == 1){       // Tombol kanan
                *state_geser = STATE_3;
                led[0] = 0;
                led[1] = 0;
                led[2] = 1;
                led[3] = 0;
                *button_debouncer = 0;

            }
            else if(*button_debouncer == -1){ // tombol kiri
                *state_geser = STATE_1;
                led[0] = 1;
                led[1] = 0;
                led[2] = 0;
                led[3] = 0;
                *button_debouncer = 0;
            }
            break;

        case STATE_3:
            if(*button_debouncer == 1){       // Tombol kanan
                *state_geser = STATE_4;
                led[0] = 0;
                led[1] = 0;
                led[2] = 0;
                led[3] = 1;
                *button_debouncer = 0;
            }
            else if(*button_debouncer == -1){ // tombol kiri
                *state_geser = STATE_2;
```

```
                led[0] = 0;
                led[1] = 1;
                led[2] = 0;
                led[3] = 0;
                *button_debouncer = 0;
            }
            break;

        case STATE_4:
            if(*button_debouncer == 1){       // Tombol kanan
                *state_geser = STATE_1;
                led[0] = 1;
                led[1] = 0;
                led[2] = 0;
                led[3] = 0;
                *button_debouncer = 0;
            }
            else if(*button_debouncer == -1){ // tombol kiri
                *state_geser = STATE_3;
                led[0] = 0;
                led[1] = 0;
                led[2] = 1;
                led[3] = 0;
                *button_debouncer = 0;
            }
            break;

        default:
            *state_geser = STATE_1;
            led[0] = 1;
            led[1] = 0;
            led[2] = 0;
            led[3] = 0;
            *button_debouncer = 0;
            break;
        }

}


void debouncer(int button_in, int *counter, int *state_debounce, int *button_fsm){
    switch(*state_debounce){
        case STATE_DETECT:
            if(button_in != 0){
                *state_debounce = STATE_DEBOUNCE_IN;
```

```
                *button_fsm = button_in;
                *counter = 0;
            }
            break;

        case STATE_DEBOUNCE_IN:
            if(*counter > 1){
                *state_debounce = STATE_HOLD;
            }
            else{
                *button_fsm = 0;
                *counter += 1;
            }
            break;

        case STATE_HOLD:
            if(button_in == 0){
                *state_debounce = STATE_DEBOUNCE_OUT;
                *counter = 0;
            }
            break;

        case STATE_DEBOUNCE_OUT:
            if(*counter > 1){
                *state_debounce = STATE_DETECT;
            }
            else{
                *button_fsm = 0;
                *counter += 1;
            }
            break;

        default:
            *button_fsm = 0;
            *state_debounce = STATE_DETECT;
            break;
    }
}

#endif
```

Kemudian, FSM di atas dijalankan pada program utama dengan *source code* berikut.

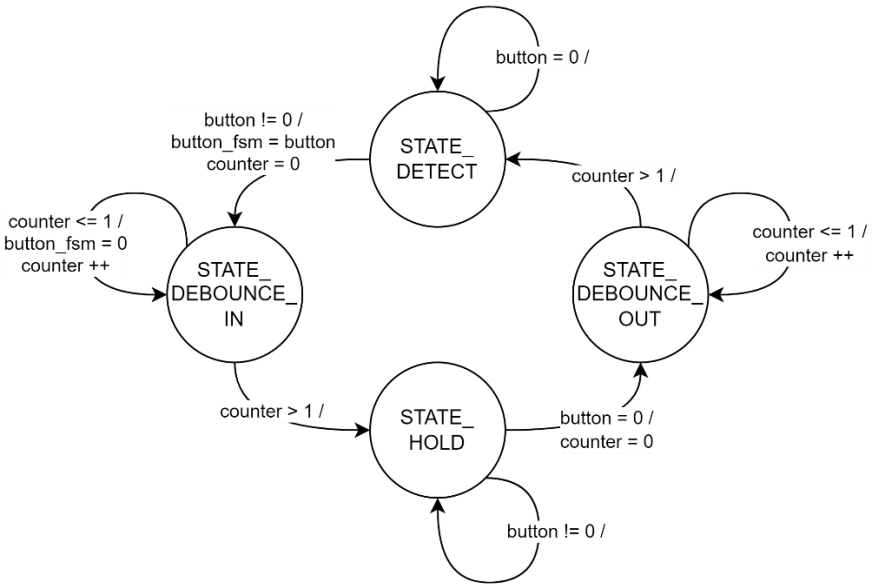
```
#include <stdio.h>
#include "driver/gpio.h"
```

```
#include "driver/timer.h"
#include "freertos/FreeRTOS.h"
#include "freertos/task.h"

#include "fsm.h"

#define GPIO_OUTPUT_A    GPIO_NUM_4
#define GPIO_OUTPUT_B    GPIO_NUM_5
#define GPIO_OUTPUT_C    GPIO_NUM_18
#define GPIO_OUTPUT_D    GPIO_NUM_19
#define GPIO_OUTPUT_PIN_SEL  ((1ULL<<GPIO_OUTPUT_A) |(1ULL<<GPIO_OUTPUT_B) |
(1ULL<<GPIO_OUTPUT_C)|(1ULL<<GPIO_OUTPUT_D))

#define GPIO_INPUT_PB1    GPIO_NUM_15
#define GPIO_INPUT_PB2    GPIO_NUM_2
#define GPIO_INPUT_PIN_SEL  ((1ULL<<GPIO_INPUT_PB1) | (1ULL<<GPIO_INPUT_PB2))

#define TIMER_USED            0     // HardwareTimer 0
#define TIMER_DIVIDER         16
#define TIMER_SCALE           (TIMER_BASE_CLK /TIMER_DIVIDER)
#define DELAY_S               (0.1)

int led_array[8] = {4,5,18,19};
int state_geser = STATE_1; // Initial STATE
int state_debounce_l = STATE_DETECT, state_debounce_r = STATE_DETECT;
int led_out[4];
int button_left = 0, button_right = 0, button_geser = 0;
int counter_left = 0, counter_right = 0;
int button_debounce_l = 0, button_debounce_r = 0;

void IRAM_ATTR timer_group_isr(void* para) {

    timer_spinlock_take(TIMER_USED); // TIMERG0
    int timer_idx = (int)para;
    uint32_t timer_intr = timer_group_get_intr_status_in_isr(TIMER_USED);

    if (timer_intr & TIMER_INTR_T0) {
        timer_group_clr_intr_status_in_isr(TIMER_USED, TIMER_0);
    } else if (timer_intr & TIMER_INTR_T1) {
        timer_group_clr_intr_status_in_isr(TIMER_USED, TIMER_1);
    }
    // -------------------------------------------------------------
    // ------------------Main procedures for ISR-----------------------
    // ------------------CASCADE FSM-----------------------------------
    // Debouncer & Edge Detector
```

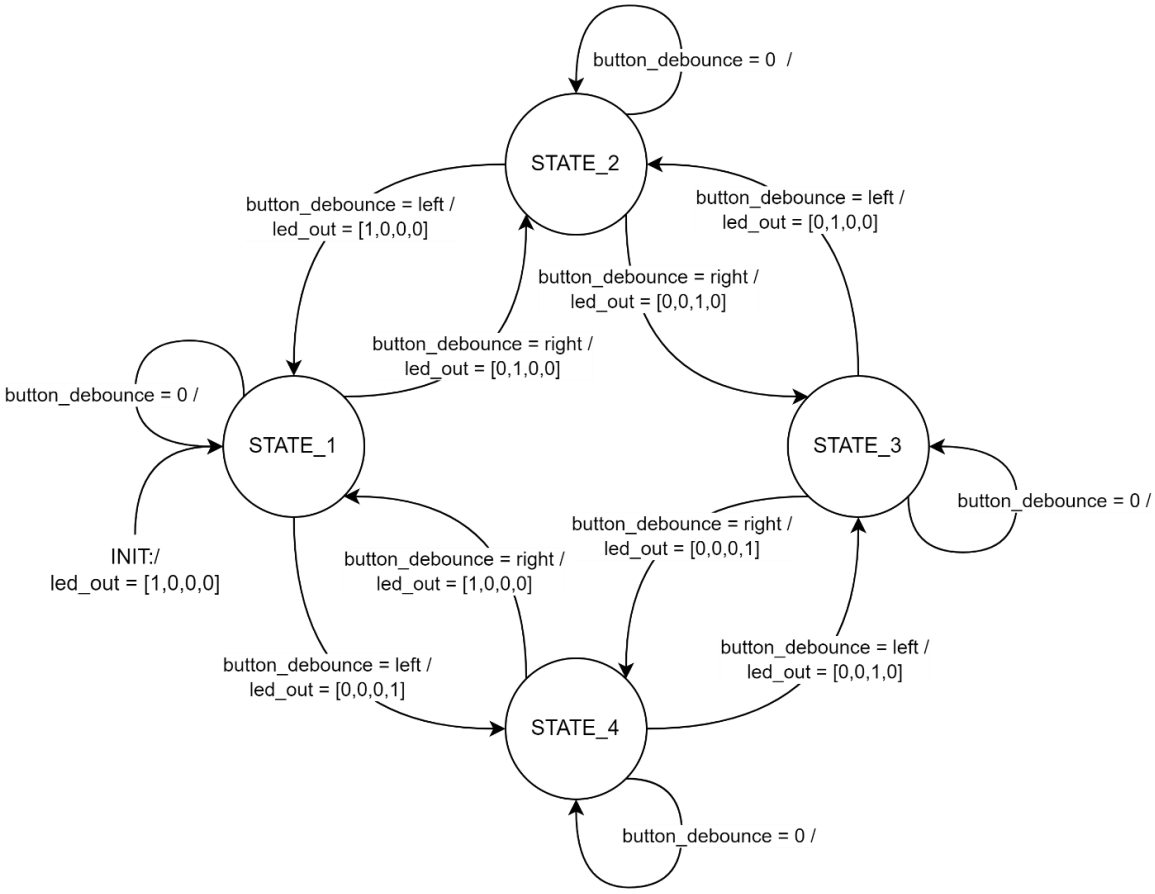
```
    debouncer(&button_left, &counter_left, &state_debounce_l, &button_debounce_l);
    debouncer(&button_right, &counter_right, &state_debounce_r,
&button_debounce_r);

    // DECISION MAKING
    button_geser = button_debounce_l + button_debounce_r;

    // FSM Processed
    lampu_geser(&button_geser, &state_geser, led_out);

    // Turn on desired LED
    for(int i=0; i < 4; i++){
        gpio_set_level(led_array[i], led_out[i]);
    }

    // ------------------------------------------------------------------
    // ------------------------------------------------------------------

    timer_group_enable_alarm_in_isr(TIMER_USED, timer_idx);
    timer_spinlock_give(TIMER_USED);
}

void app_main(void) {
    // ------------------------------------------------------------------
    // ---------------GPIO CONFIGURATION-----------------------------
    // OUTPUT LED
    gpio_config_t io_conf;
    io_conf.intr_type = 0;
    io_conf.mode = GPIO_MODE_DEF_OUTPUT;
    io_conf.pin_bit_mask = GPIO_OUTPUT_PIN_SEL;
    io_conf.pull_down_en = 0;
    io_conf.pull_up_en = 0;
    gpio_config(&io_conf);
    // ------------------------------------------------------------------
    // INPUT BUTTON
    io_conf.pin_bit_mask = GPIO_INPUT_PIN_SEL;
    io_conf.mode = GPIO_MODE_DEF_INPUT;
    io_conf.intr_type = 0; // Falling Edge
    io_conf.pull_up_en = GPIO_PULLUP_ENABLE; // enable interrupt
    io_conf.pull_down_en = 0;
    gpio_config(&io_conf);
    // ------------------------------------------------------------------
    // ----------------TIMER CONFIGURATION---------------------------
    timer_config_t config = {
        .divider = TIMER_DIVIDER,
```

```
        .counter_dir = TIMER_COUNT_UP,
        .counter_en = TIMER_START,
        .alarm_en = TIMER_ALARM_EN,
        .auto_reload = TIMER_AUTORELOAD_EN,
    };
    timer_init(TIMER_USED, TIMER_USED, &config);
    timer_set_counter_value(TIMER_USED, TIMER_USED, 0x00000000ULL);
    timer_set_alarm_value(TIMER_USED, TIMER_USED, DELAY_S * TIMER_SCALE);
    timer_enable_intr(TIMER_USED, TIMER_USED);

    // ----------------TIMER ISR-----------------------------------
    timer_isr_register(TIMER_USED, TIMER_USED, timer_group_isr, (void*)TIMER_USED,
ESP_INTR_FLAG_IRAM, NULL);
    timer_start(TIMER_USED, TIMER_USED);
    // ------------------------------------------------------------
    // ------------------------------------------------------------


    while (1) {
        // Check Button (0 if pressed)
        // Button value will back to 0 after FSM finished
        if (gpio_get_level(GPIO_INPUT_PB1) == 0) {
            button_left = 1;
        }
        if(gpio_get_level(GPIO_INPUT_PB2) == 0){
            button_right = -1;
        }
        vTaskDelay(1);
    };
}
```

Apabila digambarkan dalam suatu *state diagram*, maka didapatkan seperti ilustrasi berikut.



Gambar 5. State diagram Debouncer + Edge detector



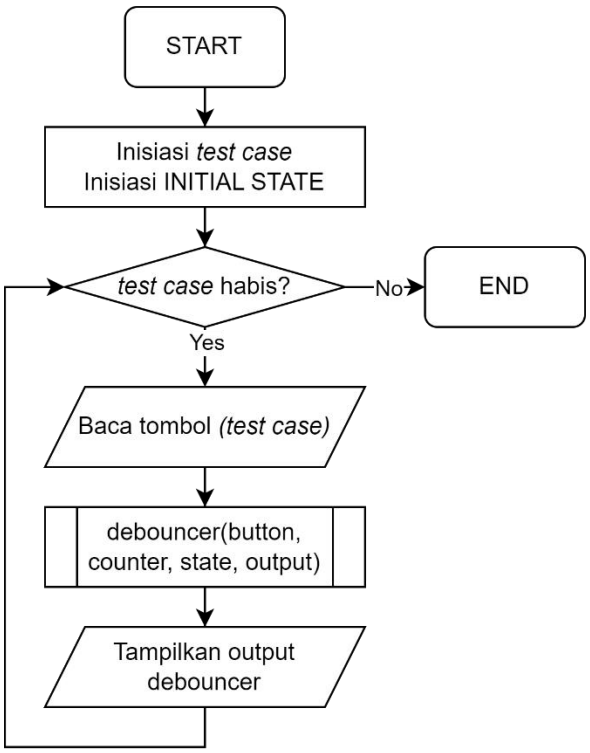
Gambar 6. State diagram lampu geser

4 Pengujian Simulasi Modul Debouncer dan Edge Detector

Pada tugas ini dilakukan pengujian satu per satu terhadap setiap modul yang dibuat. Pada modul FSM *debouncer* terdapat *debounce* dan *edge detector* yang dijadikan satu modul. *Debouncer* berfungsi untuk mencegah adanya *debouncing* dari pembacaan *push button.* Kemudian, *edge detector* berfungsi untuk membaca nilai input sebagai 1, -1, atau 0. Pengujian dilakukan dengan memberikan *test case* berupa 10 nilai input. Berikut adalah *source code* yang digunakan dalam pengujian simulasi modul *debouncer* dan *edge detector* (simul_debounce.c).

```
#include <stdio.h>
#include "./../fsm.h"

int main(){
    // Test case:
    int button[15] = {1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1};
    // ----------

    int out;
    int counter = 0;
    int state = STATE_DETECT;
    printf("Test Case: ");
    for (int k=0; k<11; k++){
        printf("%d, ", button[k]);
    }
    printf("\n");
    for (int i=0; i<15; i++){
        int prev_button = button[i];
        int prev_state = state;
        debouncer(button[i], &counter, &state, &out);
        printf("INPUT %d : %d\t | STATE : %d\t | OUT : %d\n", (i+1), prev_button,
prev_state, out);
    }

    return 0;
}
```

Apabila *source code* di atas diilustrasikan menggunakan suatu *flowchart*, maka akan menjadi seperti berikut.



Gambar 7. Flowchart simulasi modul debouncer dan edge detector

Simulasi di atas menghasilkan keluaran sebagai berikut.

```
Test Case: 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1,
INPUT 1 : 1      | STATE : 4     | OUT : 1
INPUT 2 : 1      | STATE : 5     | OUT : 0
INPUT 3 : 0      | STATE : 5     | OUT : 0
INPUT 4 : 0      | STATE : 5     | OUT : 0
INPUT 5 : 1      | STATE : 6     | OUT : 0
INPUT 6 : 0      | STATE : 6     | OUT : 0
INPUT 7 : 0      | STATE : 7     | OUT : 0
INPUT 8 : 0      | STATE : 7     | OUT : 0
INPUT 9 : 0      | STATE : 7     | OUT : 0
INPUT 10 : 1     | STATE : 4     | OUT : 1
INPUT 11 : 1     | STATE : 5     | OUT : 0
INPUT 12 : 1     | STATE : 5     | OUT : 0
INPUT 13 : 1     | STATE : 5     | OUT : 0
INPUT 14 : 1     | STATE : 6     | OUT : 0
INPUT 15 : 0     | STATE : 6     | OUT : 0
```

Gambar 8. Hasil simulasi modul debounce dan edge detector

Pada hasil simulasi di atas, pada input ke-5 sistem tidak membaca input *button* karena modul *debouncer* membutuhkan 3 siklus untuk *debounce* ketika tombol ditekan. Setelah itu, modul baru akan masuk ke *state* HOLD yang akan menahan hingga tombol dilepas. Setelah tombol dilepas, maka akan ada *debounce* dengan durasi yang sama (3 siklus). Alhasil, didapatkan bahwa program membutuhkan 9 siklus untuk satu periode kasus tercepat.

5 Pengujian Simulasi Modul Lampu Geser

Pengujian juga dilakukan pada modul lampu geser. Sama seperti simulasi sebelumnya, digunakan 11 buah *test case* dengan input ke-1 merupakan *initial state* yang ada. Alur algoritma yang digunakan sama persis dengan yang digunakan pada simulasi modul *debouncer* dan *edge detector*. Berikut adalah *source code* yang digunakan pada simulasi ini (simul_lamp.c).

```c
#include <stdio.h>
#include "./../fsm.h"

int main(){
    // Test case:
    int lamp_in[11] = {0, 1, 0, 1, 1, 1, -1, 0, -1, 0, -1};
    // ----------

    int led_out[4];
    int state = STATE_1;
    int prev;

    for (int i=0; i<11; i++){
        prev = lamp_in[i];
        lampu_geser(&lamp_in[i], &state, led_out);
        printf("INPUT %d : %d\t | OUT : %d %d %d %d\n", i, prev,
                led_out[0], led_out[1], led_out[2], led_out[3]);
    }

    return 0;
}
```

Program di atas menghasilkan tampilan sebagai berikut:

```
INPUT 0 : 0     | OUT : 1 0 0 0
INPUT 1 : 1     | OUT : 0 1 0 0
INPUT 2 : 0     | OUT : 0 1 0 0
INPUT 3 : 1     | OUT : 0 0 1 0
INPUT 4 : 1     | OUT : 0 0 0 1
INPUT 5 : 1     | OUT : 1 0 0 0
INPUT 6 : -1    | OUT : 0 0 0 1
INPUT 7 : 0     | OUT : 0 0 0 1
INPUT 8 : -1    | OUT : 0 0 1 0
INPUT 9 : 0     | OUT : 0 0 1 0
INPUT 10 : -1   | OUT : 0 1 0 0
```

Gambar 9. Hasil simulasi modul lampu geser

Pada simulasi ini tidak digunakan *debouncer* sehingga tidak berlaku *delay* input dan sistem dianggap ideal (memproses input apapun yang diterima). Dapat dilihat bahwa input 1 (kanan) akan menggeser LED yang

menyala ke arah kanan dan input -1 (kiri) akan menggeser LED yang menyala ke arah kiri. Ketika LED berada di ujung suatu sisi dan bergerak ke arah yang sama, maka LED akan pindah ke ujung yang berlawanan dan melanjutkan ke arah yang seharusnya, seperti yang terlihat pada input ke-5 dan ke-6.

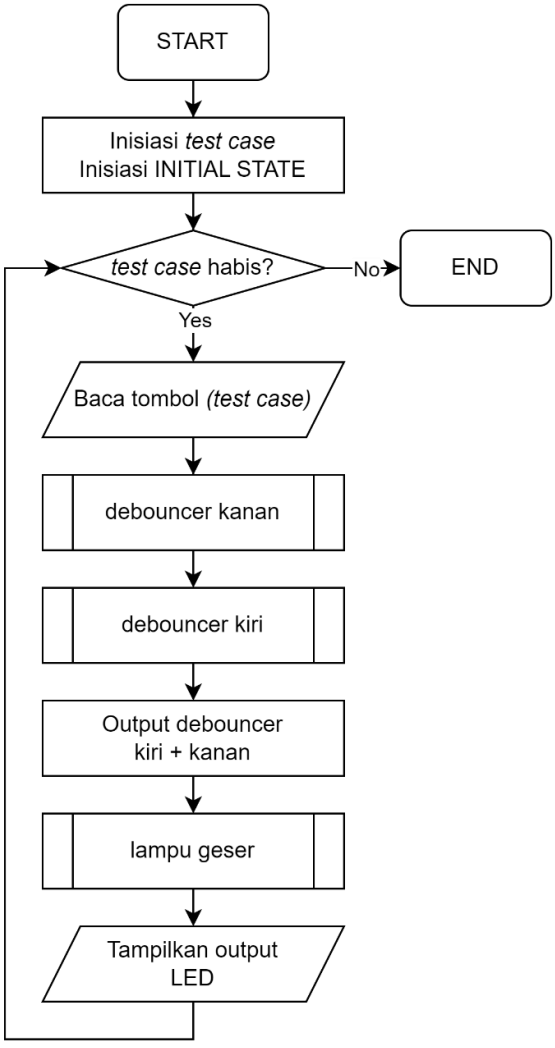
6 Pengujian Simulasi Sistem Keseluruhan

Pada simulasi sistem secara keseluruhan, maka input/*test case* mewakili input tombol yang ada, kemudian output dari *debouncer* dan *edge detector* diwakili oleh "debounce_out". Pada simulasi ini digunakan 2 buah tombol/*set test case* yang mewakili tombol kanan *(right/r* dan *left/l)*, sehingga modul *debouncer* dipanggil 2 kali yang masing-masing dipasang pada setiap *input*. Keluaran dari masing-masing *debouncer* kemudian dijumlahkan dan dijadikan *input* untuk FSM lampu geser. Berikut adalah *source code* yang digunakan pada simulasi ini (simul_system.c).

```
#include <stdio.h>
#include "./../fsm.h"

int main(){
    // Test case:
    int button_in_left[15] = {0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1};
    int button_in_right[15] = {0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0};
    // ----------
    int debounce_out_left = 0, debounce_out_right = 0;
    int counter_left = 0, counter_right = 0;
    int lamp_in;
    int led_out[4];
    int state_lamp = STATE_1;
    int state_deb_left = STATE_DETECT, state_deb_right = STATE_DETECT;
    int prev;
    int i;

    printf("BUTTON LEFT\t: ");
    for (i=0; i<15; i++){
        printf("%d\t", button_in_left[i]);
    }
    printf("\n");
    printf("BUTTON RIGHT\t: ");
    for (i=0; i<15; i++){
        printf("%d\t", button_in_right[i]);
    }
    printf("\n");

    for (i=0; i<15; i++){
        debouncer(button_in_left[i], &counter_left, &state_deb_left,
&debounce_out_left);
```

```
        debouncer(button_in_right[i], &counter_right, &state_deb_right,
&debounce_out_right);

        lamp_in = debounce_out_left + debounce_out_right;
        prev = lamp_in;
        lampu_geser(&lamp_in, &state_lamp, led_out);
        printf("INPUT %d : %d\t | OUT : %d %d %d %d\n", i, prev,
                led_out[0], led_out[1], led_out[2], led_out[3]);
    }
    return 0;
}
```

Apabila digambarkan ke dalam diagram alur, maka akan dihasilkan diagram seperti berikut.



Gambar 10. Flowchart simulasi sistem keseluruhan

Simulai di atas menghasilkan tampilan sebagai berikut.

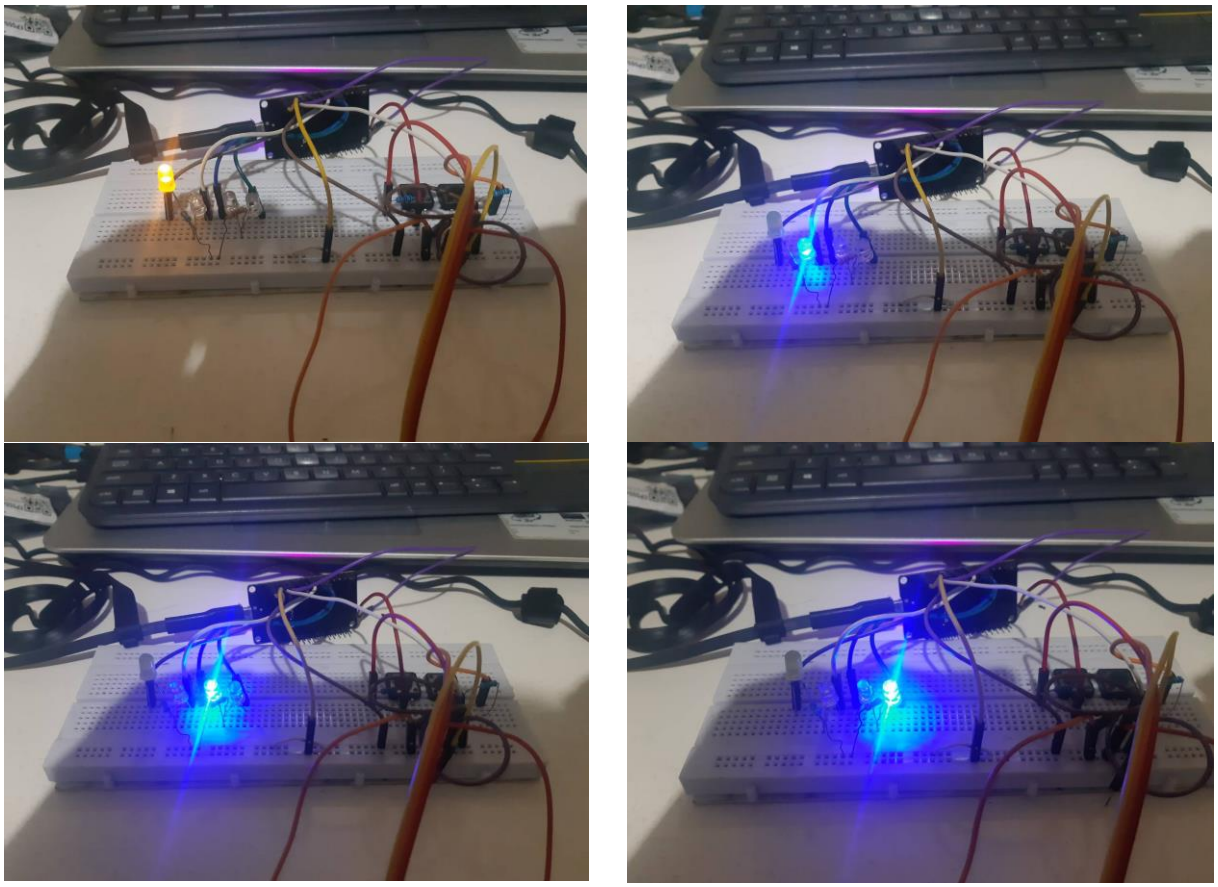
```
BUTTON LEFT    : 0    -1     0      -1     0      -1     0      0      0      0      0      0      0      1      1
BUTTON RIGHT   : 0    0      0      0      1      0      1      0      1      0      1      0      0      0      0
INPUT 0 : 0     | OUT : 1 0 0 0
INPUT 1 : -1    | OUT : 0 0 0 1
INPUT 2 : 0     | OUT : 0 0 0 1
INPUT 3 : 0     | OUT : 0 0 0 1
INPUT 4 : 1     | OUT : 1 0 0 0
INPUT 5 : 0     | OUT : 1 0 0 0
INPUT 6 : 0     | OUT : 1 0 0 0
INPUT 7 : 0     | OUT : 1 0 0 0
INPUT 8 : 0     | OUT : 1 0 0 0
INPUT 9 : 0     | OUT : 1 0 0 0
INPUT 10 : 0    | OUT : 1 0 0 0
INPUT 11 : 0    | OUT : 1 0 0 0
INPUT 12 : 0    | OUT : 1 0 0 0
INPUT 13 : 1    | OUT : 0 1 0 0
INPUT 14 : 0    | OUT : 0 1 0 0
```

Gambar 11. Hasil simulasi sistem keseluruhan

Pada “button left” dan “button right” menunjukkan input/*test case* untuk masing-masing tombol. Pada simulasi ini, modul *debouncer* dan *edge detector* dijalankan secara bersamaan dan paralel sehingga keluarannya tidak tertunda apabila salah satu tombol telah dideteksi. Output dari kedua debouncer kemudian dijumlahkan, sehingga apabila hanya salah satu tombol yang terbaca, maka input akan ada, sedangkan input dianggap tidak ada apabila kedua tombol ditekan secara bersamaan. Pada baris INPUT merupakan input yang diterima oleh FSM lampu geser. Dari simulasi yang dilakukan, maka terlihat bahwa sistem keseluruhan telah berjalan dengan sesuai.

7 Pengujian Sistem Keseluruhan pada *Hardware*

Program yang ada pada subbab “Implementasi Software” sebelumnya diprogram ke dalam ESP32 dengan rangkaian yang dibuat seperti pada subbab “Implementasi Hardware” menghasilkan keluaran seperti pada beberapa citra/foto berikut.



Gambar 12. Hasil simulasi sistem keseluruhan pada hardware

Pada simulasi yang dilakukan, didapatkan hasil yang sudah sesuai dengan yang diinginkan. Simulasi dijalankan dengan interupsi *timer* per 10 ms atau frekuensi 100 Hz. Dari simulasi yang dijalankan, tidak ada kasus *debouncing* yang terjadi walaupun tombol ditekan dengan sangat cepat oleh penulis. Selain itu, ketika tombol ditahan, tidak ada kasus di mana lampu masih berpindah-pindah. Oleh karena itu, percobaan di atas dapat dinyatakan telah sesuai dengan spesifikasi dan bekerja dengan sangat baik.

8 Kesimpulan

Dari simulasi yang dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Sistem lampu geser telah berhasil dibuat dengan menggunakan 2 buah input *push button* dan 4 buah output LED. Sistem dibuat dengan memanfaatkan 2 buah FSM, yaitu modul *debouncer* dan *edge detector* serta modul lampu geser.
- Modul *debouncer* dan *edge detector* berfungsi untuk menghindari/meminimalisir *debouncing* pada tombol, membaca tombol yang ditahan hanya sekali, serta menentukan jenis input yang diterima (kiri atau kanan).
- Modul lampu geser berfungsi untuk menentukan keluaran LED selanjutnya.
- Setiap modul telah diuji menggunakan simulasi pada *desktop* dan dihasilkan keluaran yang sesuai.
- Percobaan dengan *hardware* berjalan sesuai dengan spesifikasi dan sudah responsif. Tidak ada kasus *debouncing* atau nyala LED yang melompat selama percobaan.

9 Lampiran

Seluruh *source code* pada simulasi ini dapat diakses melalui tautan *Github* berikut:

https://github.com/sidarthaprastya/lampu_geser