

PERANCANGAN PERANGKAT KERAS ALAT UJI BIPOLAR JUNCTION TRANSISTOR BERBASIS MIKROKONTROLER

Dedy Bagus Perkasa^{*)}, Trias Andromeda dan Munawar A Riyadi

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)E-mail : dedybagusp01@gmail.com}

Abstrak

Transistor bipolar merupakan piranti elektronika yang banyak digunakan dalam teknologi elektronika. Salah satu penggunaan transistor adalah sebagai amplifier audio. Pada rangkaian digital transistor digunakan sebagai saklar berkecepatan tinggi. Agar transistor bekerja dengan optimal, pemasangan transistor dalam rangkaian harus benar. Untuk itu, posisi kaki-kaki pin transistor dan nilai parameter yang ada pada transistor perlu diperhatikan. Alat bantu atau *tester* yang handal diperlukan untuk mengetahui letak pin pada transistor. Penelitian ini merancang suatu perangkat keras yang dapat digunakan untuk membaca jenis, letak kaki, nilai penguatan, dan tegangan maju transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*). Perangkat keras ini dirancang menggunakan mikrokontroler dan resistor untuk analisis titik kerja transistor. Pengujian dilakukan dengan menguji beberapa transistor BJT dengan tipe yang berbeda-beda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat telah dapat bekerja dengan baik.

Kata kunci: Transistor, BJT, penguji pin, penguatan, tegangan maju

Abstract

Bipolar transistors are electronic devices that are widely used in electronics technology. One of the transistor usages is for audio amplifiers. In the digital circuit the transistor is used as a high-speed switch. In order for the transistor to work optimally, the installation of the transistor in the circuit must be correct, thus it is necessary to identify the position of the correct pins of the transistor and its parameter value. A reliable tool or tester is needed to locate each pin on a transistor. In this research, a tester was designed to read the type, pin location, the gain value, and the forward voltage of the BJT (*Bipolar Junction Transistor*). Hardware design was implemented using microcontroller and resistors for analysing biasing point of the transistor. The test was carried out by testing several different types of BJT transistors. The test results shows that the tester is working well.

Keywords: Transistor, BJT, pin tester, gain, forward voltage

1. Pendahuluan

Transistor merupakan komponen elektronika yang sering digunakan dalam realisasi rangkaian elektronika. Pada rangkaian analog, transistor antara lain digunakan sebagai *amplifier* (penguat). Pada rangkaian digital, transistor digunakan sebagai saklar berkecepatan tinggi [1]. Pada saat ini transistor menjadi komponen inti di dalam *microprocessor* yang digunakan pada komputer pribadi (*personal computer* atau PC) dan berbagai perangkat komputasi lainnya [2].

Transistor termasuk komponen elektronika yang rentan rusak. Kerusakan pada transistor dapat disebabkan karena pengaruh suhu, kesalahan pemasangan kaki saat penggunaan, atau faktor lainnya [3, 4]. Perubahan suhu dapat mengubah titik kerja yang sudah ditetapkan pada suhu ruang. Hal ini dapat mempengaruhi faktor penguatan

tegangan dari suatu rangkaian penguat [5]. Kesalahan pemasangan kaki transistor bisa berakibat fatal pada rangkaian elektronika, karena kaki transistor memiliki tugas dan fungsi yang berbeda-beda [6]. Hal ini bisa jadi akan membuat rangkaian tidak berfungsi dengan maksimal atau tidak berfungsi sama sekali atau bahkan rusak. Untuk menghindari hal seperti itu, maka sebelum memasang transistor pada rangkaian, perlu dilakukan pengecekan transistor [7].

Penelitian mengenai alat untuk mengecek transistor telah cukup banyak dilakukan. Suatu alat untuk mengecek jenis dan nilai penguatan transistor telah dirancang dengan akurasi 93%, namun belum dapat membaca letak kaki transistor [8]. Penelitian lain merancang alat yang dapat menghitung tingkat pembiasan dc transistor dengan tingkat kesalahan 1,87%, tetapi belum dapat membaca jenis dan letak kaki transistor [9]. Penelitian selanjutnya berhasil

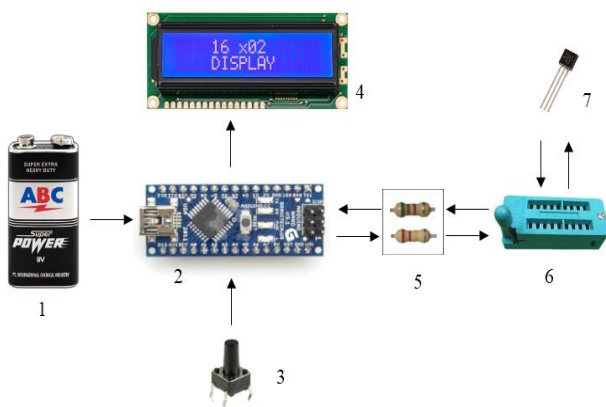
merancang alat yang dapat mengetahui keadaan transistor bagus untuk dijadikan sebagai saklar, penguat arus, penguat tegangan AC dan DC, tetapi belum dapat membaca jenis, dan letak kaki transistor [10].

Penelitian ini bertujuan merancang suatu perangkat pengujian yang dapat digunakan untuk menentukan jenis, letak kaki, nilai penguatan, dan tegangan maju dari transistor. Rangkaian perangkat keras pengujian ini dikhususkan untuk menguji transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*). Rangkaian dirancang berbasis mikrokontroler berdasarkan analisis titik kerja transistor BJT. Hasil pembacaan transistor BJT meliputi jenis, letak kaki, nilai penguatan, dan tegangan forward yang dapat ditampilkan melalui LCD.

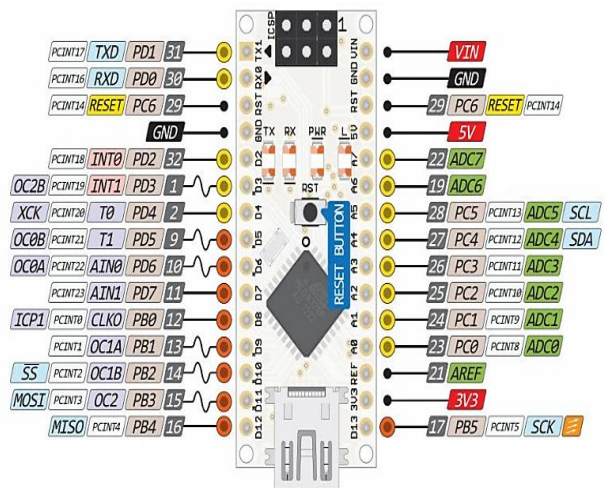
2. Metode

2.1. Perancangan Perangkat

Rancangan rangkaian pengujian secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 1. Rangkaian ini ditujukan untuk penggunaan yang bersifat mudah alih (*portable*), sehingga catu daya berupa baterai menjadi pilihan utama. Untuk keperluan catu daya bagi keseluruhan rangkaian, baterai 9V (ditandai dengan angka 1 pada Gambar 1) dipilih. Mikrokontroler Arduino Nano (angka 2) dipilih sebagai pusat pengendalian dan pengolahan data. Arduino Nano ini dapat di-reset menggunakan suatu tombol push-button (angka 3). Keluaran pembacaan dan pengolahan data dari mikrokontroler ditunjukkan pada suatu LCD 16x2 (angka 4). Mikrokontroler juga dihubungkan dengan beberapa resistor (angka 5) yang berfungsi sebagai hambatan tegangan yang masuk ke transistor BJT dan pemacu arus yang digunakan untuk mencari nilai penguatan (h_{FE}) dari transistor BJT yang diukur. Selain itu, Zif-socket (Zero Insertion Force-Socket) (angka 6) digunakan sebagai perangkat untuk menjepit transistor BJT (angka 7) yang akan diukur.



Gambar 1. Rancangan rangkaian pengujian



Gambar 2. Rangkaian skematika Arduino Nano [nano]

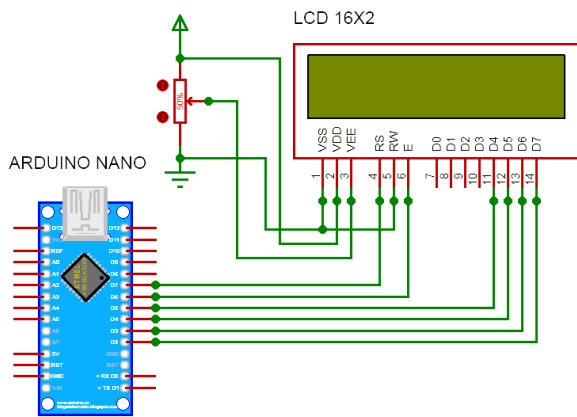
2.2. Perancangan Mikrokontroler Arduino Nano

Gambar 2 merupakan skematika konfigurasi pin Arduino Nano. Arduino Nano memiliki 30 pin yang meliputi 14 pin digital, 8 pin analog, 2 pin ground, 2 pin reset, 1 pin Aref, 1 pin supply +5V, 1 pin supply +3.3V, dan 1 pin Vin. Pin I/O pada Arduino Nano tersebut memiliki tegangan DC maksimum 5 volt dan keluaran arus dc 40mA [11].

Berdasarkan fungsi dan jumlah pin yang tersedia pada mikrokontroler Arduino Nano, rangkaian perangkat pengujian ini dibuat dengan menggunakan enam pin digital yang disambungkan dengan LCD 16x2 untuk kebutuhan display, dan enam pin digital yang akan disambungkan ke resistor untuk kebutuhan menentukan parameter transistor BJT yang diuji. Rangkaian perangkat ini juga menggunakan tiga pin analog, yang masing-masing terhubung dengan terminal uji (zif-socket). Salah satu pin reset digunakan dengan dihubungkan ke tombol push-button. Catu daya menggunakan baterai 9 volt yang disambungkan ke pin VIN. Pin +5V akan disambungkan ke LCD dan potensiometer.

2.3. Perancangan Rangkaian LCD 16x2

Pengoperasian LCD dengan mikro Arduino Nano menggunakan komunikasi 4 bit. Rangkaian antara mikrokontroler Arduino Nano dan LCD 16x2 ditunjukkan pada Gambar 3. Terlihat bahwa pin 1 (VSS) dihubungkan ke ground, pin 2 (VDD) dihubungkan ke kutub positif potensiometer lalu disambungkan ke sumber 5V dari mikrokontroler Arduino Nano, pin 3 (VEE) dihubungkan ke potensiometer 10k, pin 4 (RS) dihubungkan ke pin D7 (digital 7). Pin 5 (RW) dihubungkan ke ground, pin 6 (E) dihubungkan ke D6 (digital 6), dan pin 11-14 dihubungkan ke D5-D2 (pin digital 5 sampai digital 2).



Gambar 3. Rangkaian skematik LCD 16x2

2.4. Perancangan Rangkaian Resistor

Nilai resistor yang digunakan pada rangkaian BJT tester berbasis Arduino ini menggunakan nilai 510 ohm dan 220k ohm. Nilai tersebut didapatkan dari perhitungan dengan bantuan *datasheet* transistor seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai I_C , I_B , V_{CE} , h_{FE} beberapa tipe BJT

No	Model	I_C (sat)	I_B (sat)	V_{CE} (sat)	h_{FE}
1	2N3904	10 mA	1 mA	0,2 v	100 - 300
2	2N3906	10 mA	1 mA	0,25 v	100 - 300
3	2N5401	10 mA	1 mA	0,2 v	60 - 240
4	2N2222	500 mA	5 mA	0,4 v	30 - 300
5	BC547	10 mA	0,5 mA	0,25 v	110 - 800
6	BC548	10 mA	0,5 mA	0,25 v	110 - 800
7	BC549	10 mA	0,5 mA	0,25 v	110 - 800
8	BC550	10 mA	0,5 mA	0,25 v	110 - 800
9	BC237	10 mA	0,5 mA	0,2 v	120 - 800
10	BC238	10 mA	0,5 mA	0,2 v	120 - 800
11	BC557	10 mA	0,5 mA	0,3 v	90 - 800
12	BC558	10 mA	0,5 mA	0,3 v	90 - 800
13	BC337	500 mA	50 mA	0,7 v	60 - 630
14	TIP31	3 A	375 mA	1,2 v	10 - 50
15	TIP32	3 A	375 mA	1,2 v	10 - 50
16	TIP34	3 A	300 mA	0,4 v	20 - 100
17	S9014	500 mA	50 mA	0,3 v	40 - 1000
18	S9015	500 mA	50 mA	0,3 v	60 - 1000
19	S8550	500 mA	50 mA	0,5 v	120 - 400
20	S8050	500 mA	50 mA	0,5 v	40 - 400
Rata - rata h_{FE}					75 - 560

Perhitungan nilai resistor yang digunakan adalah berdasar titik kerja yang digunakan pada kondisi aktif. Perangkat pengujian BJT ini menggunakan tegangan suplai sebesar 5 volt (tegangan maksimum keluaran pin Arduino Nano), sehingga nilai V_{ce} maksimum adalah 5 volt. Kemudian nilai arus kolektor I_c dapat diasumsikan dengan nilai I_c terkecil dari transistor yang tersedia pada Tabel 1, yaitu $I_c = 10mA$. Kemudian dapat diketahui daerah beban dc dengan I_c maksimum 10mA dan V_{ce} maksimum 5 volt. Nilai penguatan transistor dapat diperoleh jika transistor dalam keadaan aktif / linier. Oleh sebab itu diasumsikan V_{ceq} adalah setengah dari V_{ce} maks, yaitu 2,5 volt. Saat $V_{ceq} = \frac{1}{2} \times V_{ce}$ maks, nilai I_{cq} adalah setengah dari I_c maks, yaitu 5 mA.

Nilai resistor yang terhubung seri dengan kaki kolektor R_c dapat diketahui dengan perhitungan berikut:

$$R_c = \frac{V_{CE}}{I_c} \quad (1)$$

$$R_c = \frac{2,5}{(5 \text{ mA})}$$

$$R_c = 500 \text{ ohm}$$

Kemudian nilai h_{FE} yang akan dijadikan acuan untuk mencari I_B ditentukan terlebih dahulu. Nilai h_{FE} dapat diasumsikan dengan menggunakan setengah nilai rata-rata h_{FE} transistor yang tersedia pada Tabel 1, yaitu 242. Nilai I_B dapat diketahui dengan persamaan berikut [1]:

$$I_c = \beta \cdot I_B \quad (2)$$

$$I_B = (5 \text{ mA}) / 242$$

$$I_B = 20 \mu A$$

Kemudian nilai resistansi yang terhubung dengan kaki basis R_B dicari dengan mengasumsikan nilai V_{BE} adalah 0,7 volt.

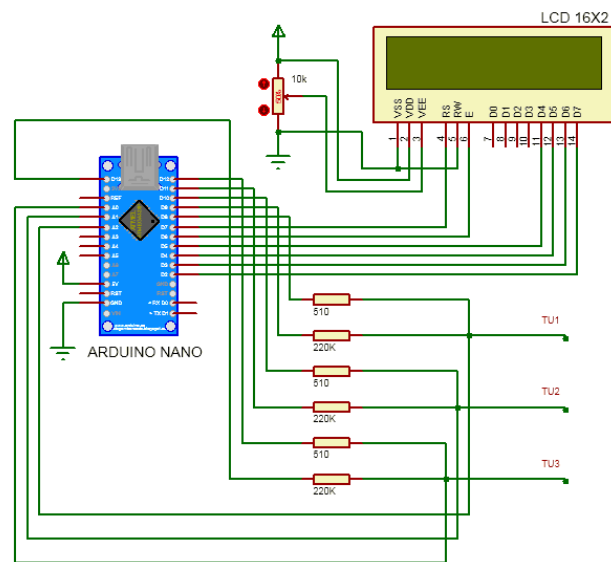
$$V_{CC} - I_B \cdot R_B - V_{BE} = 0 \quad (3)$$

$$5v - (21 \mu A \cdot R_B) - 0,7v = 0$$

$$R_B = \frac{(5 - 0,7v)}{20 \mu A}$$

$$R_B = 215k \text{ ohm}$$

Resistor dengan nilai 500 ohm dan 215K ohm tidak tersedia di pasaran, oleh sebab itu dapat diganti dengan nilai resistor yang mendekati nilai 500 ohm dan 215K ohm. Melihat dari daftar nilai resistor (E12 Series), maka didapatkan nilai resistor yang terdekat adalah 510 ohm dan 220K ohm. Rangkaian keseluruhan resistor yang terhubung dengan mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 4.

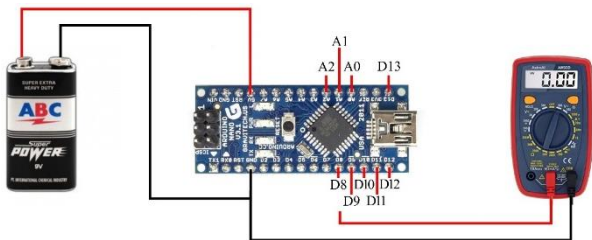


Gambar 4. Skema rangkaian keseluruhan

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengujian Tegangan Keluaran Arduino Nano

Pada pengujian ini, Arduino Nano diprogram terlebih dahulu agar pin keluaran memberikan keluaran tegangan berlogika 1 (high), yang artinya memberikan nilai output sebesar 5 volt. Gambar 5 menunjukkan skema pengujian yang dimaksud.



Gambar 5. Skema pengujian tegangan keluaran pin Arduino Nano

Listing program untuk memberikan keluaran berupa logika High adalah sebagai berikut:

```
void setup() {
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(A0, OUTPUT);
  pinMode(A1, OUTPUT);
  pinMode(A2, OUTPUT);
}

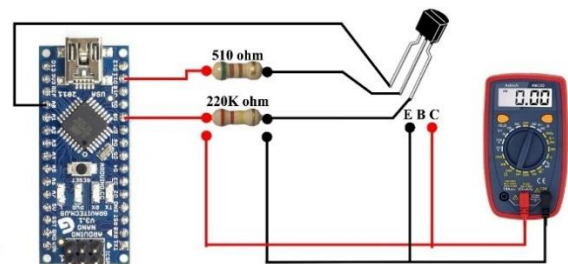
void loop() {
  digitalWrite(8, HIGH);
  digitalWrite(9, HIGH);
  digitalWrite(10, HIGH);
  digitalWrite(11, HIGH);
  digitalWrite(12, HIGH);
  digitalWrite(13, HIGH);
  analogWrite(A0, 255);
  analogWrite(A1, 255);
  analogWrite(A2, 255);
}
```

Tabel 2. Pengujian tegangan keluaran pin Arduino Nano

No	Nama Pin	Tegangan Keluaran
1	Digital 8 (D8)	4,98 volt
2	Digital 9 (D9)	4,98 volt
3	Digital 10 (D10)	4,98 volt
4	Digital 11 (D11)	4,98 volt
5	Digital 12 (D12)	4,98 volt
6	Digital 13 (D13)	4,90 volt
7	Analog 0 (A0)	4,98 volt
8	Analog 1 (A1)	4,98 volt
9	Analog 2 (A2)	4,98 volt

Tabel 2 menunjukkan hasil keluaran pengujian. Hasil pengujian pengukuran keluaran pin D8, D9, D10, D11, D12, A0, A1, dan A2 pada Arduino Nano adalah sebesar 4,98 volt. Nilai ini mendekati nilai tegangan keluaran pin berdasarkan datasheet Arduino Nano, yaitu 5 volt. Pada pin D13 nilai yang terukur berbeda dengan pin yang lain, karena pada pin ini terdapat resistor dalam rangkaian skematik mikrokontroler Arduino Nano. Jadi dapat disimpulkan pin pada Arduino Nano bekerja dengan baik dan tidak ada yang cacat/rusak.

3.2. Pengujian Penguatan Transistor

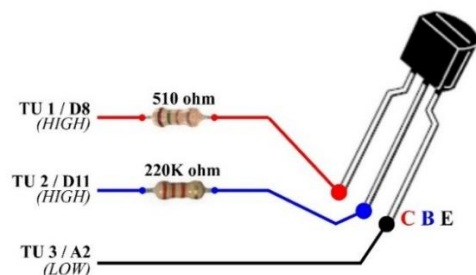


Gambar 6. Skema pengujian tegangan antar kaki transistor dan pada resistor

Pengujian dilakukan dengan enam kombinasi setting terminal uji (TU1, TU2, dan TU3), seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Terdapat enam kombinasi setting terminal uji (TU) karena pada satu terminal uji (TU) terhubung dengan tiga pin Arduino Nano, sebagaimana dideskripsikan pada Tabel 3. Pada satu kombinasi setting pin, hanya akan digunakan satu pin dari ketiga pin tersebut.

Tabel 3. Kombinasi setting TU1, TU2, dan TU3

Nama	TU1	TU2	TU3
Kombinasi 1	High	Test	Low
Kombinasi 2	Low	Test	High
Kombinasi 3	High	Low	Test
Kombinasi 4	Low	High	Test
Kombinasi 5	Test	High	Low
Kombinasi 6	Test	Low	High



Gambar 7. Skema rangkaian uji transistor NPN dengan kombinasi 1

Dari Tabel 3, terminal uji setting pin bernilai HIGH artinya mengkondisikan pin tersebut berlogika 1 melalui pin digital yang terhubung dengan resistor 510 ohm. Terminal uji setting pin LOW artinya mengkondisikan pin tersebut berlogika 0 melalui pin analog. Terminal uji TEST artinya mengkondisikan pin tersebut berlogika 1 untuk transistor NPN, dan berlogika 0 untuk transistor PNP melalui pin digital yang terhubung dengan resistor 220K ohm.

Pengujian dengan transistor NPN menggunakan kombinasi 1 ditunjukkan pada Gambar 7. Pengukuran tegangan dilakukan pada kaki CE, BE, resistor 510, dan resistor 220K. Nilai h_{FE} didapatkan dari hasil perhitungan I_C / I_B . Nilai I_C dan I_B didapatkan dari hasil perhitungan $V = I.R$. Hasil pengujian transistor NPN dengan kombinasi 1 ditunjukkan pada Tabel 4. Adapun *listing code* program yang diberikan ke mikrokontroler Arduino Nano adalah sebagai berikut :

```
void setup() {
  pinMode(8, OUTPUT); // TU1
  pinMode(11, OUTPUT); // TU2
  pinMode(A2, OUTPUT); // TU3
}

void loop() {
  digitalWrite(8, HIGH); // TU1
  digitalWrite(11, HIGH); // TU2
  analogWrite(A2, 0); // TU3
}
```

Tabel 4. Hasil pengujian pengukuran transistor NPN dengan kombinasi 1

Model	Vce (volt)	Vbe (volt)	Vrc (volt)	Vrb (volt)	hFE
BC237	1,96	0,66	2,45	3,87	273
BC338	2,67	0,63	1,77	3,92	195
2N3904	2,48	0,67	1,96	3,87	218
C9013	2,72	0,66	1,74	3,90	192
S9014	1,26	0,66	3,07	3,83	346

Tabel 5. Hasil pengujian pengukuran transistor NPN dengan kombinasi 2

Model	Vce (volt)	Vbe (volt)	Vrc (volt)	Vrb (volt)	hFE
BC237	1,95	0,66	2,43	3,85	272
BC338	2,7	0,63	1,75	3,91	193
2N3904	2,49	0,67	1,94	3,86	217
C9013	2,73	0,65	1,73	3,89	192
S9014	1,26	0,66	3,05	3,82	344

Tabel 6. Hasil pengujian pengukuran transistor NPN dengan kombinasi 3

Model	Vce (volt)	Vbe (volt)	Vrc (volt)	Vrb (volt)	hFE
BC237	1,96	0,65	2,43	3,80	276
BC338	2,72	0,62	1,73	3,85	194
2N3904	2,52	0,67	1,93	3,80	219
C9013	2,76	0,65	1,71	3,83	193
S9014	1,30	0,65	3,06	3,76	351

Tabel 7. Hasil pengujian pengukuran transistor NPN dengan kombinasi 4

Model	Vce (volt)	Vbe (volt)	Vrc (volt)	Vrb (volt)	hFE
BC237	2,00	0,65	2,39	3,79	272
BC338	2,74	0,63	1,71	3,85	192
2N3904	2,53	0,67	1,90	3,8	216
C9013	2,76	0,65	1,68	3,83	189
S9014	1,29	0,65	3,01	3,76	345

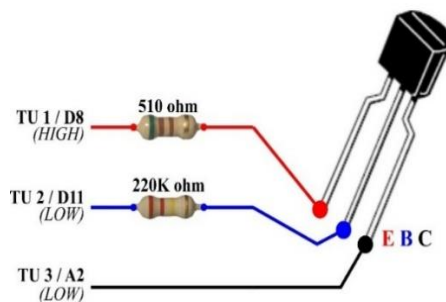
Tabel 8. Hasil pengujian pengukuran transistor NPN dengan kombinasi 5

Model	Vce (volt)	Vbe (volt)	Vrc (volt)	Vrb (volt)	hFE
BC237	2,01	0,65	2,39	3,86	267
BC338	2,75	0,63	1,71	3,92	188
2N3904	2,53	0,67	1,91	3,87	213
C9013	2,77	0,65	1,69	3,9	187
S9014	1,29	0,65	3,03	3,83	341

Tabel 9. Hasil pengujian pengukuran transistor NPN dengan kombinasi 6

Model	Vce (volt)	Vbe (volt)	Vrc (volt)	Vrb (volt)	hFE
BC237	1,96	0,66	2,41	3,86	267
BC338	2,71	0,63	1,73	3,95	188
2N3904	2,49	0,67	1,92	3,86	213
C9013	2,74	0,65	1,73	3,9	187
S9014	1,28	0,66	3,05	3,84	341

Tabel 4-9 menunjukkan hasil pengujian dengan menerapkan kombinasi 1-6 pada transistor NPN. Nilai hasil pengujian menunjukkan beberapa nilai yang berbeda. Hal ini bisa dikarenakan adanya nilai toleransi pada resistor yang digunakan pada rangkaian. Perubahan tersebut mempengaruhi nilai h_{FE} yang di peroleh dengan rentang 1-10. Tetapi nilai penguatan transistor (h_{FE}) yang diperoleh masih berada didalam range transistor uji berdasarkan datasheet yang ada. Jadi dapat disimpulkan bahwa rangkaian yang dibuat dapat untuk menentukan nilai h_{FE} transistor tipe NPN.



Gambar 8. Skema rangkaian uji transistor PNP dengan kombinasi 1

Pengujian transistor PNP dengan kombinasi 1 ditunjukkan pada Gambar 8. Pengukuran tegangan dilakukan pada kaki CE, BE, resistor 510, dan resistor 220K. Nilai h_{FE} didapatkan dari hasil perhitungan I_C / I_B . Nilai I_C

didapatkan dari perhitungan $I_e = I_c - I_b$. Nilai I_e dan I_b didapatkan dari hasil perhitungan $V = I.R$.

Adapun *listing code* program yang diberikan ke mikrokontroler Arduino Nano adalah sebagai berikut :

```
void setup() {
pinMode(8, OUTPUT); // TU1
pinMode(11, OUTPUT); // TU2
pinMode(A1, OUTPUT); // TU3
}
void loop() {
digitalWrite(8, HIGH; // TU1
digitalWrite(11, LOW); // TU2
analogWrite(A1, 0); // TU3
}
```

Berdasarkan Tabel 10-15, pengujian dengan menerapkan kombinasi 1-6 transistor PNP, nilai hasil pengujian terdapat beberapa nilai yang berbeda. Hal ini bisa dikarenakan adanya nilai toleransi pada resistor yang digunakan pada rangkaian. Perubahan tersebut mempengaruhi nilai h_{FE} yang diperoleh dengan rentang 1-10. Tetapi nilai penguatan transistor (h_{FE}) yang diperoleh masih berada didalam range transistor uji berdasarkan datasheet yang ada. Jadi dapat disimpulkan bahwa rangkaian yang dibuat dapat untuk menentukan nilai h_{FE} transistor tipe PNP.

Jika dibandingkan dengan penelitian lain [8,9], maka alat uji BJT ini telah mampu untuk membaca letak kaki transistor dan menentukan jenis transistor dengan baik.

Tabel 10. Hasil pengujian pengukuran transistor PNP dengan kombinasi 1

Model	Vce (volt)	Vbe (volt)	Vre (volt)	Vrb (volt)	hfE
C9015	3,14	0,64	1,36	2,54	230
2N3906	2,58	0,64	1,87	2	402
S9012	3,01	0,64	1,48	2,42	263
2N5401	3,58	0,63	0,96	2,98	138
S8550	3,21	0,64	1,39	2,6	230

Tabel 11. Hasil pengujian pengukuran transistor PNP dengan kombinasi 2

Model	Vce (volt)	Vbe (volt)	Vre (volt)	Vrb (volt)	hfE
C9015	3,14	0,64	1,35	2,54	228
2N3906	2,58	0,64	1,86	2	400
S9012	3,02	0,64	1,47	2,42	261
2N5401	3,57	0,64	0,95	2,98	137
S8550	3,2	0,64	1,38	2,6	228

Tabel 12. Hasil pengujian pengukuran transistor PNP dengan kombinasi 3

Model	Vce (volt)	Vbe (volt)	Vre (volt)	Vrb (volt)	hfE
C9015	3,15	0,64	1,35	2,55	227
2N3906	2,59	0,64	1,86	2,01	398
S9012	3,03	0,64	1,47	2,43	260
2N5401	3,61	0,64	0,95	2,99	136
S8550	3,22	0,64	1,29	2,62	211

Tabel 13. Hasil pengujian pengukuran transistor PNP dengan kombinasi 4

Model	Vce (volt)	Vbe (volt)	Vre (volt)	Vrb (volt)	hfE
C9015	3,16	0,64	1,34	2,56	225
2N3906	2,6	0,64	1,85	2,02	394
S9012	3,03	0,64	1,46	2,44	257
2N5401	3,6	0,63	0,94	2,99	135
S8550	3,23	0,64	1,28	2,62	210

Tabel 14. Hasil pengujian pengukuran transistor PNP dengan kombinasi 5

Model	Vce (volt)	Vbe (volt)	Vre (volt)	Vrb (volt)	hfE
C9015	3,18	0,64	1,32	2,57	221
2N3906	2,59	0,64	1,84	2,04	388
S9012	3,05	0,64	1,44	2,45	253
2N5401	3,61	0,63	0,93	3	133
S8550	3,25	0,64	1,29	2,61	212

Tabel 15. Hasil pengujian pengukuran transistor PNP dengan kombinasi 6

Model	Vce (volt)	Vbe (volt)	Vre (volt)	Vrb (volt)	hfE
C9015	3,14	0,64	1,34	2,58	223
2N3906	2,58	0,64	1,83	2,02	390
S9012	3,02	0,64	1,46	2,47	254
2N5401	3,57	0,64	0,95	3,1	131
S8550	3,2	0,64	1,38	2,63	225

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perangkat keras alat uji Bipolar Junction Transistor berbasis mikrokontroler dengan Arduino Nano 328 telah bekerja dengan baik. Resistor yang telah dihitung nilainya dapat membaca tipe, nilai penguatan, posisi kaki, dan tegangan maju dari transistor BJT. Pengujian h_{FE} untuk transistor NPN dan PNP dilakukan dengan enam kombinasi terminal uji, yang memberikan hasil nilai penguatan transistor (h_{FE}) pada range transistor sesuai dengan datasheet. Dengan demikian, perangkat ini telah memberikan fungsi pembacaan tipe, nilai penguatan, posisi kaki, dan tegangan maju dari transistor BJT sesuai perancangan.

Referensi

- [1]. Sedra, A.S. dan Smith, K.C., *Microelectronic circuits*. Edisi 7, New York: Oxford University Press. 2015.
- [2]. Thompson, S.E. dan Parthasarathy, S. "Moore's law: the future of Si microelectronics", *Materials today*, 9(6), 2006, hal. 20-25.
- [3]. Reggiani, S., Barone, G., Poli, S., Gnani, E., Gnudi, A., Baccarani, G., Chuang, M.Y., Tian, W. and Wise, R., "TCAD simulation of hot-carrier and thermal degradation in STI-LDMOS transistors". *IEEE Transactions on Electron Devices*, 60(2), 2013, hal. 691-698.

- [4]. Urakawa, S., Tomai, S., Ueoka, Y., Yamazaki, H., Kasami, M., Yano, K., Wang, D., Furuta, M., Horita, M., Ishikawa, Y. and Uraoka, Y., "Thermal analysis of amorphous oxide thin-film transistor degraded by combination of joule heating and hot carrier effect." *Applied Physics Letters*, 102(5), 2013 hal. 053506.
- [5]. Xing-Ji, L., Hong-Bin, G., Mu-Jie, L., De-Zhuang, Y., Shi-Yu, H. dan Chao-Ming, L., "Degradation mechanisms of current gain in NPN transistors." *Chinese Physics B*, 19(6), 2010, hal. 066103.
- [6]. Drew, D., Newcomb, J.L., McGrath, W., Maksimovic, F., Mellis, D. dan Hartmann, B. "The toastboard: Ubiquitous instrumentation and automated checking of breadboarded circuits." *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, 2016, hal. 677-686.
- [7]. Boylestad, Robert dan Nashelsky, Louis, *Electronic Devices and Circuit Theory*, Prentice Hall, 2012.
- [8]. Sandy, Kiki Hery, "Realisasi Digital Transistor Tester Berbasis Mikrokontroler", Tugas Akhir, Telkom University, 2010.
- [9]. Saptadi, A.H., Wahyudi, E. dan Simorangkir, C.A., "Aplikasi Perhitungan Pembiasan DC Pada Transistor Dwi Kutub NPN Dengan Visual Basic 6.0". *Jurnal Infotel*, 2(1), 2010. hal.43-55..
- [10]. Rahmad, M.R.M., Azizahwati, A. dan Ernidawati, E., "Pengembangan Alat Eksperimen Untuk Praktikum Elektronika Dasar Pada Topik Transistor Bipolar." *SEMIRATA*, 2(1). 2015, hal. 116-121
- [11]. McRoberts, Michael. *Beginning Arduino*. Apress, 2013.