

Rancang Bangun Alat Praktikum Proteksi Tegangan Rendah Terhadap Tegangan Sentuh dan Beban Lebih Menggunakan RCBO

Adinda Diva NPI¹, Sunarto², Sudrajat³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559

¹ E-mail : adinda.diva.tlis21@polban.ac.id

² E-mail : soen@polban.ac.id

³ E-mail : sudrajat@polban.ac.id

ABSTRAK

Pengembangan fasilitas mata kuliah Proteksi Tegangan Rendah Diploma Tiga, Jurusan Teknik Elektro berupa media pembelajaran praktikum proteksi tegangan rendah terhadap tegangan sentuh dan beban lebih menggunakan RCBO pada sistem pembumian TT. RCBO mampu bereaksi secara singkat (*instantaneous*) saat besar arus bocor dan arus beban mencapai nilai tertentu. Pada penelitian ini, *timer* mencatat waktu pemutusan RCBO apabila besar arus bocor $\geq 30\text{mA}$ dan arus beban lebih $> 6\text{A}$. Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun pada pembuatan alat praktikum dan metode eksperimental untuk pengambilan data pada pengujian tegangan sentuh dan beban lebih di Laboratorium Instalasi Listrik. Hasil penelitian menyatakan bahwa alat praktikum bekerja sesuai parameter perencanaan dan perancangan. Pada pengujian tegangan sentuh langsung, saat resistansi tubuh manusia mencapai 5000 Ohm besar arus bocor 42mA dengan waktu *trip* RCBO 0,06 s. Pada pengujian tegangan sentuh tidak langsung, saat resistansi pembumian peralatan 2,5 Ohm dan resistansi gangguan 5000 Ohm besar arus bocor 41mA dengan waktu *trip* RCBO 0,06 s. Pada pengujian beban lebih, saat arus beban lebih 9A RCBO *trip* pada 324,6 s dan saat arus beban lebih 17A RCBO *trip* pada 7,86 s. Sehingga alat praktikum tersebut dapat digunakan sebagai sarana penunjang pembelajaran pada mata kuliah praktikum proteksi tegangan rendah.

Kata Kunci

Proteksi; Arus Bocor; Beban Lebih; RCBO; Kejut Listrik; *Instantenous*.

ABSTRACT

Development of facilities for the Diploma Three Low Voltage Protection course, Department of Electrical Engineering in the form of practical learning media for low voltage protection against touch voltage and overload using RCBO on the TT earthing system. RCBO is able to react briefly (instantaneous) when the leakage current and load current reach a certain value. In this research, the timer records the time to disconnect the RCBO if the leakage current is $\geq 30\text{mA}$ and the overload current is $> 6\text{A}$. This research uses design methods for making practical equipment and experimental methods for collecting data on touch voltage and overload tests in the Electrical Installation Laboratory. The research results stated that the practical tools worked according to planning and design parameters. In the direct touch voltage test, when the human body resistance reaches 5000 Ohm, the leakage current is 42mA with an RCBO trip time of 0.06 s. In the indirect touch voltage test, when the equipment grounding resistance is 2.5 Ohm and the fault resistance is 5000 Ohm, the leakage current is 41mA with an RCBO trip time of 0.06 s. In the overload test, when the overload current was 9A the RCBO tripped at 324.6 s and when the overload current was 17A the RCBO tripped at 7.86 s. So that this practical tool can be used as a means of supporting learning in the low voltage protection practical course.

Keywords

Protection; Leakage Current; Overload; RCBO; Electric Shock; Instantaneous.

1. PENDAHULUAN

Politeknik Negeri Bandung mengembangkan mata kuliah baru pada tahun 2016 yaitu Proteksi Tegangan Rendah untuk mahasiswa Semester 2 Program Studi Diploma Tiga Teknik Listrik. Mata kuliah ini mempelajari sistem proteksi tegangan rendah secara teori dan praktik. Pada pelaksanaannya, mata kuliah ini telah memiliki beberapa alat praktikum proteksi sebagai media pembelajaran. Namun belum ada pengembangan fasilitas untuk praktikum proteksi tegangan rendah terhadap tegangan sentuh dan beban lebih menggunakan Gawai Proteksi Arus Sisa (GPAS) yaitu *Residual Current Circuit Breaker with Integral Overload Protection* (RCBO) sebagai komponen proteksi pada rangkaian.

Arus bocor dapat mengakibatkan efek berbahaya pada tubuh manusia karena menyebabkan kejutan listrik atau tegangan sentuh, adapun beban lebih dan hubung singkat mengakibatkan efek bahaya terhadap peralatan listrik karena dapat menjadi sumber percikan api yang memicu terjadinya kebakaran. Pada PUIL 2011 131.1 dikatakan bahwa untuk instalasi tegangan rendah, sistem dan perlengkapan, proteksi dasar umumnya berkaitan dengan proteksi terhadap sentuhan langsung.

Maka dari itu, diperlukan sistem pemutus arus sisa dengan proteksi beban lebih integral yaitu RCBO. RCBO dapat memutus rangkaian secara otomatis ketika terdapat arus bocor ≥ 30 mA atau arus yang melebihi rating nominal.

Berdasarkan permasalahan diatas, penelitian ini bertujuan untuk melengkapi fasilitas media pembelajaran praktikum proteksi tegangan rendah di Politeknik Negeri Bandung dengan topik "Rancang Bangun Alat Praktikum Proteksi Tegangan Rendah Terhadap Tegangan Sentuh dan Beban Lebih Menggunakan RCBO" agar dapat digunakan sebagai sarana prasarana pembelajaran dengan harapan dapat meningkatkan kualitas pembelajaran dan dapat memberikan gambaran nyata untuk mempermudah mahasiswa dalam memahami teori mengenai sistem proteksi tegangan rendah.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Proteksi Tegangan Rendah

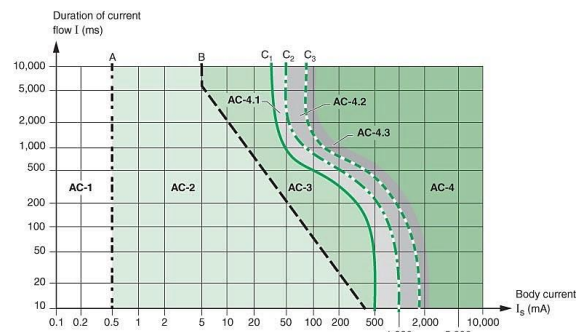
Jaringan tegangan rendah merupakan basis dari sistem distribusi dan terhubung langsung dengan konsumen [1]. Distribusi primer dan distribusi sekunder adalah dua bagian dari sistem distribusi.

Pada distribusi primer, konsumen tegangan menengah (20kV) menerima sumber listrik yang disalurkan dari gardu induk yaitu dari trafo daya sisi sekunder ke trafo distribusi sisi primer yang berada di gardu distribusi. Tegangan (20kV) dari gardu distribusi diturunkan menjadi tegangan rendah yaitu 380V untuk tegangan 3 fasa dan 220V untuk tegangan 1 fasa dan disalurkan ke konsumen tegangan rendah, proses ini merupakan proses distribusi sekunder [2]

Menurut standar PUIL 2020 bagian 131.2.1 dan 131.2.2, pemasangan proteksi terhadap berbagai jenis gangguan pada saluran tegangan rendah penting dilakukan salah satunya untuk mencegah terjadinya kejutan listrik terhadap manusia dengan memasang proteksi terhadap sentuh langsung (proteksi dasar) dan proteksi terhadap sentuh tidak langsung (proteksi gangguan) [3]

2.2. Kejut Listrik

Kejut listrik (*Electric shock*) terjadi ketika tubuh manusia dialiri oleh arus listrik. Kejutan listrik dapat berpengaruh pada fungsi dan sistem tubuh manusia diantaranya fungsi otot, sistem pernapasan dan sistem peredaran darah.



Gambar 1. Zona Waktu dan Efek Kejutan Listrik Pada Manusia (IEC 60479-1)

Zona dari dampak kejutan listrik dengan durasi dan besar nilai pada arus listrik yang mengalir melalui bagian fisik manusia terbagi menjadi empat zona, pembagian zona efek kejutan listrik ini tercantum dalam standar IEC 60479-1.

Tabel 1. Dampak kejutan listrik terhadap manusia

Zona	Batas	Efek Fisiologis
AC-1	Kurva A	Sedikit kesemutan bahkan tidak ada respon sama sekali

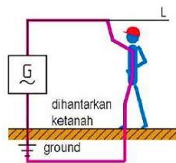
Zona	Batas	Efek Fisiologis
AC – 2	Kurva B	Terjadi vibrasi kejut namun tidak memberikan dampak yang berbahaya
AC – 3	Kurva B – Kurva C	Berisiko kram otot dan sulit bernapas, namun tidak merusak bagian dalam tubuh
AC – 4	> Kurva C	Durasi yang cukup panjang dapat memberikan dampak fisik yang berbahaya, seperti terbakar, jantung berhenti hingga tidak bernafas
AC – 4.1	C1 – C2	5% berkemungkinan fungsi jantung terhenti
AC – 4.2	C2 – C3	50% berkemungkinan fungsi jantung terhenti
AC – 4.3	> Kurva C3	> 50% berkemungkinan fungsi jantung terhenti

2.3. Tegangan Sentuh

Tegangan antara bagian listrik aktif yang bersentuhan dengan suatu objek yang terhubung dengan pembumian pada jarak berkisar 1 Meter merupakan definisi dari tegangan sentuh. [4]

2.3.1. Tegangan Sentuh Langsung

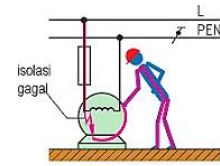
Bagian konduktif yang tersentuh oleh tubuh manusia dapat menghantarkan arus listrik ke tubuh manusia, peristiwa ini disebut dengan tegangan sentuh langsung [5]



Gambar 2. Sentuh Langsung [5]

2.3.2. Tegangan Sentuh Tidak Langsung

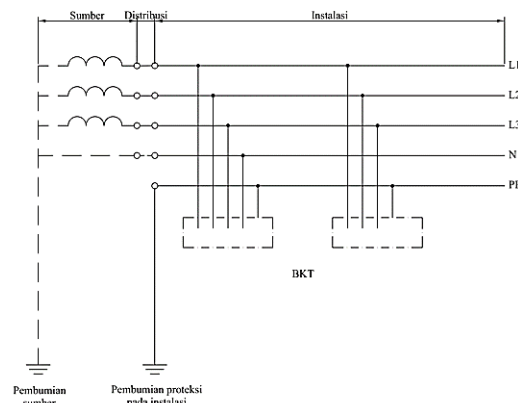
Dalam keadaan normal, Bagian Konduktif Terbuka (BKT) atau perangkat listrik tidak akan bertegangan namun saat terjadi gangguan insulasi maka BKT menjadi bertegangan. Tegangan sentuh tidak langsung timbul saat BKT atau perangkat listrik tersentuh oleh manusia [5]



Gambar 3. Sentuh Tidak Langsung [5]

2.3.3. Sistem Pembumian TT (Terra – Terra)

Sistem pembumian TT hanya memiliki satu titik yang langsung terhubung ke bumi, namun terdapat penggabungan bagian konduktif pada instalasi antara elektode bumi yang berbeda dengan elektode bumi pada sistem suplai.



Gambar 4. Sistem Pembumian TT [3]

2.3.4. Gangguan Arus Lebih

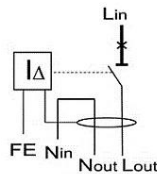
Kondisi dimana terdapat arus listrik yang melampaui besaran arus beban maksimal sehingga berdampak pada sistem kerja dan menyebabkan kerusakan pada peralatan merupakan pengertian dari gangguan arus lebih. Gangguan arus lebih terbagi menjadi dua jenis yaitu arus hubung singkat (*short circuit*) dan arus beban lebih (*overload*).

Arus beban lebih terjadi saat terdapat penambahan beban sehingga menyebabkan arus meningkat secara signifikan dan melebihi batas maksimal. Adapun arus hubung singkat yang terjadi saat terdapat gangguan isolasi antar fasa maupun antara fasa (+) dengan netral (-) akan mengakibatkan arus menjadi lebih besar dan melebihi batas arus maksimal [6]

2.3.5. RCBO (Residual Circuit Breaker with Integral Overload Protection)

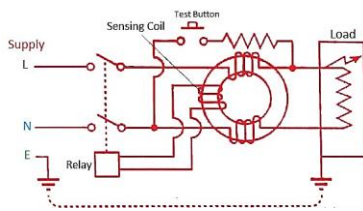
Residual Current Circuit Breaker with Integral Overload Protection adalah peralatan proteksi suatu sistem instalasi listrik. Saat terdeteksi

kebocoran arus dan beban lebih RCBO akan beroperasi dengan cara memutus instalasi listrik termasuk hantaran netralnya dengan cepat (*instantaneous*) [7]



Gambar 5. Simbol RCBO [8]

Alat proteksi yang tidak bersentuhan langsung dengan manusia biasanya memiliki rating arus bocor 30mA sedangkan rating alat proteksi yang bersentuhan langsung dengan manusia adalah 10 mA. Kemudian alat proteksi dengan rating arus bocor 300-500 mA digunakan untuk mencegah kebakaran [9].



Gambar 6. Prinsip Kerja RCBO [10]

Prinsip kerja RCBO sangat bergantung pada komponen khusus yang disebut bimetal. Ketika terjadi lonjakan arus akibat korsleting atau arus berlebih, bimetal di dalam RCBO akan menjadi pendeteksi kebocoran listrik tersebut. Panas yang dihasilkan oleh korsleting akan membuat bimetal pada RCBO melengkung, sehingga memutus aliran listrik secara otomatis.

Sedangkan saat terjadi kontak antara arus fasa, netral dan pembumian pada instalasi listrik atau biasa disebut arus bocor, saat keadaan normal tidak terjadi garis gaya magnet karena jumlah arus yang melalui saluran kumparan sama dengan nol dan arus tersebut Kembali ke beban melalui kumparan netral sehingga saat keadaan ubnormal arus yang mengalir ke bumi tidak lagi seimbang dan akan menghasilkan beberapa magnetisme sisa dalam *coil* yang mengakibatkan relai yang ada pada RCBO akan bekerja melepaskan kontak-kontaknya sehingga RCBO akan memutus arus (*trip*) [10]

GPAS direkomendasikan sebagai peralatan pengaman terhadap tegangan sentuh langsung dan

tegangan sentuh tak langsung pada beberapa sistem pembumian diantaranya TN-C-S, TN-S, TT dan IT. Sedangkan pada sistem pembumian TN-C, GPAS berupa RCBO tidak dapat digunakan sebagai pengaman tambahan dari tegangan sentuh langsung dan tegangan sentuh tak langsung karena memiliki tingkat risiko kebakaran yang tinggi. Hal ini tercantum pada PUIL 2020 lampiran G.

Waktu diskoneksi maksimum GPAS atau RCBO pada arus AC dengan tegangan suplai antara 120 Volt hingga 230 Volt dengan menggunakan sistem pembumian TT adalah 0,2 s. Hal tersebut tercantum pada PUIL 2020 Tabel 41.1.

Tabel dibawah ini merupakan perbandingan antara RCBO (*Residual Current Circuit Breaker with Integral Overload Protection*) dengan MCB (*Miniature Circuit Breaker*) dan ELCB (*Earth Leakage Circuit Breaker*).

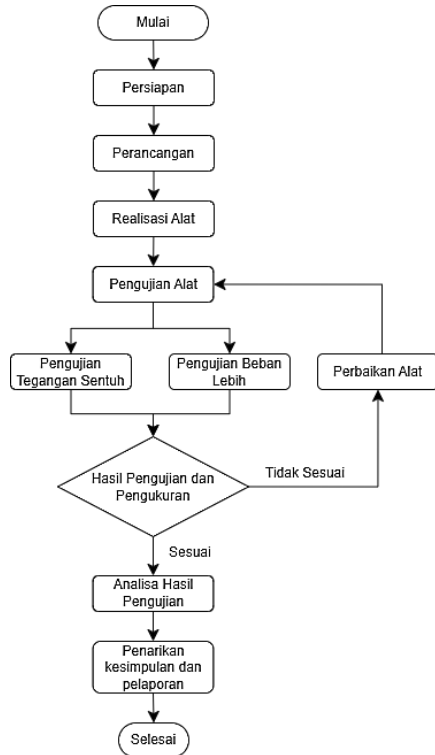
Tabel 2. Perbandingan RCBO dengan MCB dan ELCB

Spesifikasi	MCB	ELCB	RCBO
Proteksi Beban Lebih	Ya	Tidak	Ya
Proteksi Hubung Singkat	Ya	Tidak	Ya
Proteksi Arus Bocor	Tidak	Ya	Ya

3. METODOLOGI PELAKSANAAN

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun pada pembuatan alat praktikum dan eksperimental untuk pengambilan data pada pengujian tegangan sentuh dan arus beban lebih.

Adapun serangkaian kegiatan yang dilaksanakan secara teratur dan sistematis untuk mencapai tujuan dari penelitan, berikut adalah diagram alir prosedur pelaksanaan rancang bangun alat praktikum pada penelitian ini:

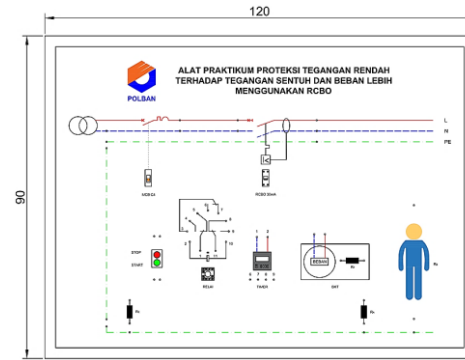


Gambar 7. Diagram Alir Prosedur Pelaksanaan

3.1. Persiapan dan Perancangan

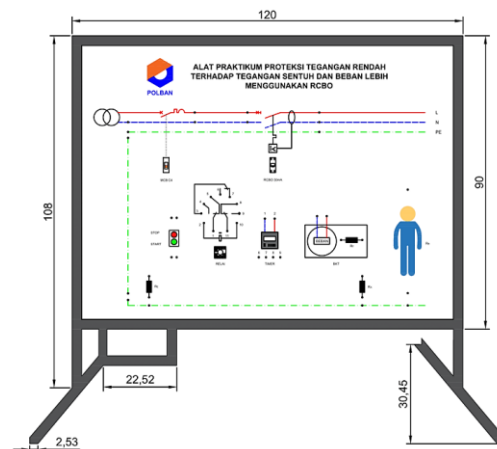
Penelitian ini dimulai dengan proses persiapan yaitu mengidentifikasi masalah yang akan dibahas, kemudian mencari referensi dan studi literatur yang terkait dengan masalah tersebut. Setelah menentukan pokok masalah dan bahasan yang akan dikaji selanjutnya menentukan tujuan penelitian yaitu merancang dan mengaplikasikan alat praktikum proteksi tegangan rendah. Proses kedua yaitu perancangan, melakukan perancangan terhadap topik bahasan yang akan dibuat. Dalam perancangan ini terdapat beberapa bagian, diantaranya perancangan desain *layout* dan rangka alat praktikum serta perancangan parameter alat praktikum. Berikut perancangan – perancangan dari alat praktikum yang dibuat:

1. Perancangan *Layout* Alat Praktikum



Gambar 8. Desain *Layout* alat praktikum.

2. Perancangan Rangka Alat Praktikum



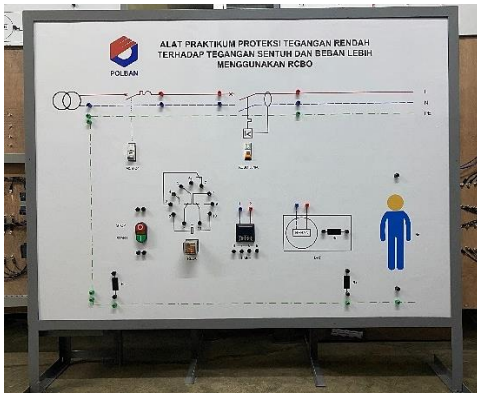
Gambar 9. Keseluruhan Alat Praktikum

3. Perancangan Parameter Alat Praktikum

Transformator isolasi 660 VAR, arus kerja max pada transformator 5A dengan daya semu 1.100 VA, tegangan kerja trafo 220 V/220 V yang artinya trafo memiliki perbandingan 1:1 antara primer dan sekundernya. Komponen proteksi yang digunakan adalah RCBO Schneider Acti9 iC60H 6A type A dengan arus sensitivitas tinggi 30mA dan waktu kerja secara seketika (*instantaneous*) sebagai pengaman saat pengujian tegangan sentuh dan beban lebih. Serta MCB Schneider Domae 1P 10A type C dengan *breaking capacity* 6000A sebagai pengaman utama pada alat praktikum. Penghantar yang digunakan NYAF 1,5 mm², serta pentanahan sistem TT dengan tahanan tubuh 100 Ω – 20.000 Ω, tahanan pembumian peralatan 2,5 Ω, 5 Ω dan 10 Ω, serta tahanan gangguan 100 Ω - 20.000 Ω. Beban yang digunakan yaitu 1 buah lampu pijar 60 Watt, *Rheostat* 11 Ω, 100 Ω, 1000 Ω, 2000 Ω dan 10.000 Ω, *Dummy Load* dengan arus beban lebih yang diuji 9 A – 17 A.

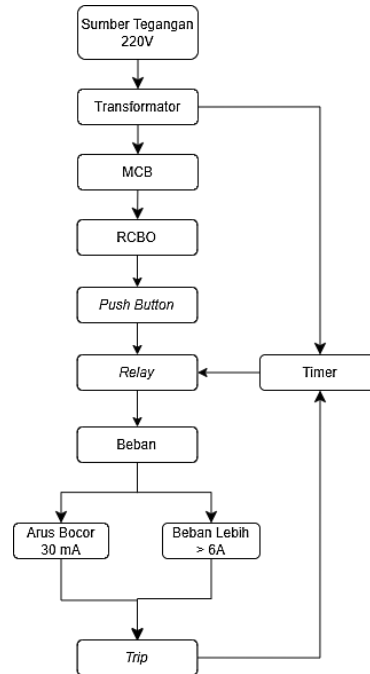
3.2. Realisasi Alat

Proses realisasi alat praktikum dimulai dengan pembuatan rangka alat praktikum, lalu dilanjutkan dengan pemasangan papan yang telah terpasang *layout* pada rangka alat praktikum, kemudian memasang komponen-komponen dengan spesifikasi yang telah ditentukan, selanjutnya pemasangan pengawatan penghantar dan terakhir pengecekan sambungan pengawatan dan *finishing* alat praktikum. Gambar 10 adalah realisasi dari alat praktikum yang telah selesai dibuat:



Gambar 10. Realisasi Alat Praktikum

Alat praktikum ini dicatu dengan sumber tegangan dari PLN sebesar 220 V AC yang mengalir melalui MCB sebagai proteksi utama yang mensuplai tegangan ke RCBO, kemudian dari RCBO dihubungkan ke beban yang memiliki arus bocor dengan cara menambahkan resistansi tubuh manusia menggunakan *rheostat* untuk pengujian tegangan sentuh langsung dan menambah tahanan gangguan pada pembumian peralatan serta tahanan pentanahan menggunakan *rheostat* untuk pengujian tegangan sentuh tidak langsung pada sistem pembumian TT. Adapun pengujian arus beban lebih terhadap RCBO yang bekerja dengan cara mengatur nilai arus beban hingga arus tersebut melebihi arus nominal menggunakan *dummy load* satu fasa sebagai bebannya, arus beban lebih ini mengakibatkan bimetal pada RCBO menjadi panas sehingga RCBO akan *trip* dan memutus rangkaian. Deskripsi alat praktikum ini digambarkan oleh diagram blok berikut:



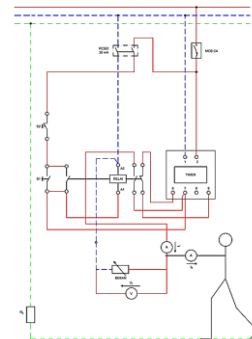
Gambar 11. Diagram Blok Deskripsi Alat

3.3. Pengujian Alat Praktikum

Proses terakhir dari penelitian ini yaitu pengujian terhadap alat praktikum, pengujian ini meliputi pengujian *Hardware* berupa pengecekan fisik dan fungsi komponen serta pengujian *Software* berupa pengujian parameter yang ada pada alat praktikum. Pengujian yang dilakukan terbagi menjadi dua yaitu pengujian tegangan sentuh dan pengujian arus beban lebih. Hasil pengujian yang telah didapat akan dianalisa sehingga dapat ditarik kesimpulan dan terakhir membuat pelaporan.

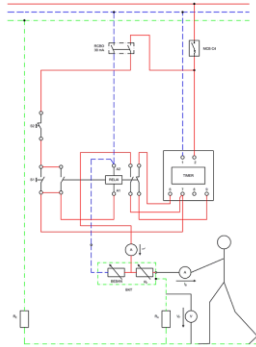
Berikut adalah rangkaian pengujian tegangan sentuh dan beban lebih pada alat praktikum:

1. Pengujian Tegangan Sentuh Langsung



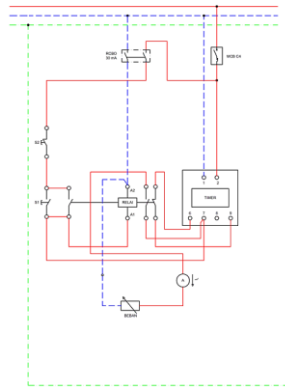
Gambar 12. Rangkaian Pengujian Tegangan Sentuh Langsung

2. Pengujian Tegangan Sentuh Tidak Langsung



Gambar 13. Rangkaian Pengujian Tegangan Sentuh Tidak Langsung

3. Pengujian Arus Beban Lebih



Gambar 14. Rangkaian Pengujian Arus Beban Lebih

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian *Hardware* Alat Praktikum

Berdasarkan spesifikasi transformator, besar tegangan yang dikeluarkan melalui transformator menuju ke alat adalah 220V. Setelah dilakukan pengukuran menggunakan Voltmeter hasilnya berada pada kisaran 220-227 V, Hal ini sesuai dengan parameter alat praktikum.

RCBO (*Residual Current Circuit Breaker with Integral Overload Protection*) merupakan GPAS (Gawai Proteksi Arus Sisa). Berdasarkan spesifikasi RCBO yang digunakan mampu memutuskan rangkaian ketika terdapat arus bocor ≥ 30 mA dan arus lebih $> 6A$ dalam waktu seketika (*Instantaneous*).

Timer H5CX-AN mendapat suplai tegangan dari MCB utama. Timer ini dikunci oleh *relay* yang terhubung dengan *push button*. Sehingga ketika *push button* ditekan maka rangkaian akan bekerja

dan timer akan dengan otomatis menghitung maju. Apabila terjadi arus bocor ≥ 30 mA atau beban lebih $> 6A$ RCBO akan trip dan timer akan berhenti menghitung untuk menunjukkan waktu kerja RCBO. Hal ini menandakan bahwa timer H5CX-AN, MCB utama, *Relay*, dan *Push Button* berfungsi dengan baik.

Dari hasil pengujian diatas dapat dinyatakan bahwa alat praktikum telah memenuhi parameter sehingga alat praktikum dapat digunakan sebagai fasilitas penunjang pembelajaran untuk mata kuliah praktikum proteksi tegangan rendah.

4.2. Hasil Pengujian *Software* Alat Praktikum

Pembuatan alat praktikum ini didukung dari alat praktikum sebelumnya, namun dilakukan pengembangan pada komponen GPAS yang digunakan yaitu RCBO serta menggunakan sistem pembumian TT. Berikut hasil pengujian berdasarkan bahan ajar:

4.2.1. Hasil Pengujian Terhadap Tegangan Sentuh Langsung

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Tegangan Sentuh Langsung

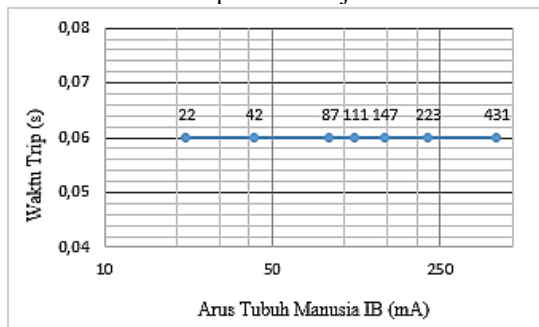
No	Resistansi Tubuh Manusia R_b (Ω)	Arus Bocor I_b (mA)		V_s (Volt)	Tegangan Sentuh V_b (Volt)	RCBO	
		Pengujian	Hitungan			Trip/ Tidak	Waktu Trip (s)
1	500 (tanpa APD)	431	445	222,5	221,2	Trip	0,06
2	1000 (tanpa APD)	223	222	222,5	221,6	Trip	0,06
3	1500 (tanpa APD)	147	148	222,5	222,8	Trip	0,06
4	2000 (tanpa APD)	111	111	222,5	223,4	Trip	0,06
5	2500 (tanpa APD)	87	89	222,5	223,4	Trip	0,06
6	5000 (tanpa APD)	42	44	222,5	223,6	Trip	0,06
7	10.000 (lantai berisilasi)	22	22	222,5	223,9	Trip	0,06
8	20.000 (memakai APD)	9	11	222,5	224,0	Tidak	-

Berdasarkan tabel 3 diatas dapat dilihat bahwa RCBO akan bekerja ketika diberi resistansi tubuh manusia sebesar 500 Ω , 1000 Ω , 1500 Ω , 2000 Ω , 2500 Ω dan 5000 Ω dengan arus bocor sebesar 431 mA, 223 mA, 147 mA, 111 mA, 87 mA, dan 42 mA dengan waktu pemutusan 0,06 s. Berdasarkan zona efek kejut Listrik IEC 6047-1 seperti pada gambar 1 menunjukkan bahwa efek yang terjadi pada manusia berupa kejang otot dan kesulitan bernafas tetapi tidak terjadi kerusakan organ, berbeda dengan resistansi gangguan sebesar 5000 Ω dan 10.000 Ω dapat menimbulkan efek fisiologis berbahaya jika durasi waktu yang lama, seperti henti jantung, henti nafas, serta terbakar. Berdasarkan zona efek kejut Listrik IEC 6047-1 gambar II, Tabel II.1 menunjukkan bahwa efek yang terjadi pada manusia berupa kejang otot dan kesulitan bernafas tetapi tidak terjadi kerusakan organ, berbeda dengan resistansi gangguan sebesar 5000 Ω dan 10.000 Ω dapat menimbulkan

efek fisiologis berbahaya jika durasi waktu yang lama, seperti henti jantung, henti nafas, serta terbakar. Adapun ketika manusia dalam keadaan memakai APD serta lingkungan kerjanya berisolasi dengan resistansi tubuh manusia sebesar 10.000Ω arus yang dihasilkan $< 30 \text{ mA}$ yaitu sebesar 22 mA , RCBO juga dapat *trip* dikarenakan arus yang dihasilkan mendekati 30 mA . Berbeda dengan saat resistansi tubuh manusia sebesar 20.000Ω dengan arus yang dihasilkan sebesar 9 mA tidak akan memberikan reaksi terhadap tubuh atau merasakan getaran kejut tetapi tidak menimbulkan bahaya efek fisiologis dan RCBO tidak bekerja untuk memutus rangkaian.

4.2.1.1. Analisa Hasil Pengujian Tegangan Sentuh Langsung

1. Pengaruh arus bocor yang melalui tubuh manusia terhadap waktu kerja RCBO

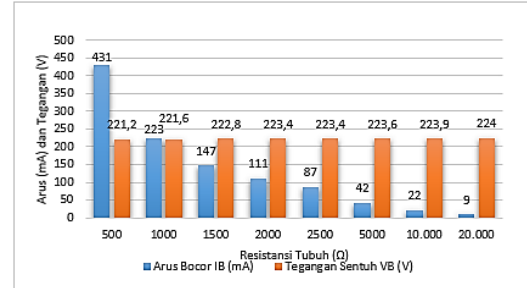


Gambar 15. Grafik I_B (A) terhadap waktu kerja RCBO (s)

Dari gambar 15 hasil pengujian tegangan sentuh langsung didapat data bahwa waktu kerja RCBO dipengaruhi oleh arus yang melalui tubuh manusia. Saat arus yang melalui tubuh manusia $\geq 30 \text{ mA}$ sesuai dengan rating proteksi RCBO unruk manusia, maka RCBO akan *trip* dengan waktu pemutusan seketika (*instananeous*).

Pada dasarnya waktu pemutusan RCBO akan tetap konstan apabila terdapat arus $\geq 30 \text{ mA}$, pada pengujian ini waktu pemutusan RCBO konstan pada $0,06 \text{ s}$. Berdasarkan PUIL 2020 tabel 41.1 waktu diskoneksi maksimum GPAS yaitu $0,2$ untuk pembumian sistem TT, sedangkan waktu kerja selama pengujian tegangan sentuh langsung konstan $0,06 \text{ s}$ sehingga sudah sesuai dengan standar yang berlaku.

2. Pengaruh tahanan tubuh manusia dan tempat kerja terhadap besarnya arus yang melalui tubuh manusia dan tegangan sentuhnya



Gambar 16. Grafik R_B (Ω) dan tempat kerja terhadap I_B (mA) dan V_B (V)

Berdasarkan Gambar 16 diatas, dari hasil pengujian didapat data bahwa arus yang melalui tubuh manusia (I_B) dan tegangan sentuhnya (V_B) dipengaruhi oleh tahanan tubuh dan lingkungan kerjanya diantaranya ketika tahanan tubuh semakin besar, penggunaan APD dan tempat kerja dengan lantai berisolasi. arus yang melalui tubuh manusia $< 30 \text{ mA}$ tidak akan membahayakan manusia serta RCBO tidak akan bekerja untuk memutus rangkaian. Sedangkan saat tanpa APD dan tempat kerja tidak berisolasi, arus bocor yang melalui tubuh manusia akan $\geq 30 \text{ mA}$ akan membuat RCBO bekerja dan memutus rangkaian. Besar arus yang mengalir pada tubuh manusia akan berbanding terbalik dengan besar tegangan sentuh langsung pada manusia. Semakin besar arusnya, maka tegangan sentuh langsung akan semakin kecil tetapi perubahannya tidak signifikan karena selisihnya yang sedikit.

4.2.2. Hasil Pengujian Tegangan Sentuh Tidak Langsung

Tabel 4. Data Pengujian Tegangan Sentuh Tidak Langsung dengan $R_E = 2,5 \Omega$

No	Resistansi Gangguan R_f (Ω)	R_E (Ω)	Arus Bocor I_f (mA)		Tegangan Sentuh V_f (V)		RCBO
			Pengujian	Hitungan	V_s	Pengujian	
1	100	2,5	2036	2222	222,2	5,1	Trip
2	500	2,5	417	444	222,2	1,042	Trip
3	1000	2,5	216	222	222,2	0,539	Trip
4	1500	2,5	142	148	222,2	0,356	Trip
5	2000	2,5	107	111	222,2	0,267	Trip
6	2500	2,5	84	88	222,2	0,213	Trip
7	3000	2,5	70	74	222,2	0,175	Trip
8	4000	2,5	52	55	222,2	0,131	Trip
9	5000	2,5	41	44	222,2	0,105	Trip
10	10.000	2,5	20	22	222,2	0,024	Trip
11	20.000	2,5	9	11	222,2	0,024	Tidak

Tabel 5. Data Pengujian Tegangan Sentuh Tidak Langsung dengan $R_E = 5 \Omega$

No	Resistansi Gangguan Rf (Ω)	RE (Ω)	Arus Bocor If (mA)		Tegangan Sentuh Vf (V)		RCBO Waktu Trip (s)	
			Pengujian	Hitungan	Vs	Pengujian		
1	100	5	2175	2222	222,2	11,01	Trip	0,06
2	500	5	418	444	222,2	2,095	Trip	0,06
3	1000	5	216	222	222,2	1,08	Trip	0,06
4	1500	5	142	148	222,2	0,72	Trip	0,06
5	2000	5	108	111	222,2	0,544	Trip	0,06
6	2500	5	85	88	222,2	0,432	Trip	0,06
7	3000	5	70	74	222,2	0,356	Trip	0,06
8	4000	5	52	55	222,2	0,267	Trip	0,06
9	5000	5	41	44	222,2	0,214	Trip	0,06
10	10.000	5	20	22	222,2	0,106	Trip	0,06
11	20.000	5	9	11	222,2	0,051	Tidak	-

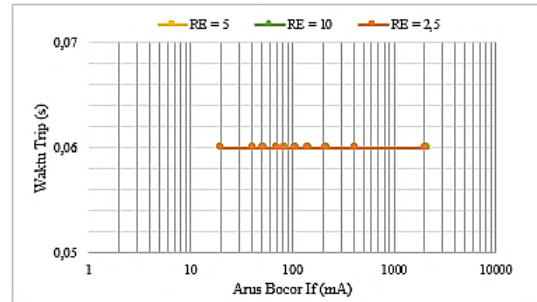
Tabel 6. Data Pengujian Tegangan Sentuh Tidak Langsung dengan $R_E = 10 \Omega$

No	Resistansi Gangguan Rf (Ω)	RE (Ω)	Arus Bocor If (mA)		Tegangan Sentuh Vf (V)		RCBO Waktu Trip (s)	
			Pengujian	Hitungan	Vs	Pengujian		
1	100	10	2104	2222	222,2	21,04	Trip	0,06
2	500	10	420	444	222,2	4,25	Trip	0,06
3	1000	10	220	222	222,2	2,21	Trip	0,06
4	1500	10	145	148	222,2	1,45	Trip	0,06
5	2000	10	109	111	222,2	1,1	Trip	0,06
6	2500	10	87	88	222,2	0,87	Trip	0,06
7	3000	10	72	74	222,2	0,72	Trip	0,06
8	4000	10	53	55	222,2	0,53	Trip	0,06
9	5000	10	42	44	222,2	0,42	Trip	0,06
10	10.000	10	20	22	222,2	0,2	Trip	0,06
11	20.000	10	9	11	222,2	0,09	Tidak	-

Berdasarkan tabel 4, 5 dan 6, didapat hasil pengujian tegangan sentuh tidak langsung dengan nilai resistansi gangguan 100 Ω hingga 20.000 Ω dengan tahanan pentanahan yang berbeda-beda diantaranya 2,5 Ω, 5 Ω, dan 10 Ω. RCBO akan bekerja ketika terdapat arus yang melalui pembumian peralatan ≥ 30 mA yang dapat mengakibatkan efek terhadap manusia berupa getaran kejut, kejang otot, kesulitan bernafas, hingga kemungkinan 5% jantung berhenti pada resistansi 100 Ω hingga 5.000 Ω dalam waktu *instananeous*. Sedangkan saat arus yang melalui pembumian peralatan < 30 mA yaitu pada resistansi gangguan 20.000 Ω, RCBO tidak bekerja namun pada resistansi gangguan 10.000 Ω RCBO bekerja dan memutus rangkaian, hal ini dapat terjadi karena arus yang dihasilkan mendekati 30 mA yaitu 20 mA dan apabila terdapat tegangan sentuh tidak langsung hanya akan menimbulkan efek getaran kejut tetapi tidak disertai dengan efek fisiologis yang membahayakan tubuh manusia.

4.2.2.1. Analisa Hasil Pengujian Tegangan Sentuh Tidak Langsung

1. Pengaruh arus bocor yang melalui pembumian peralatan terhadap waktu kerja RCBO (s) pada sistem pembumian TT

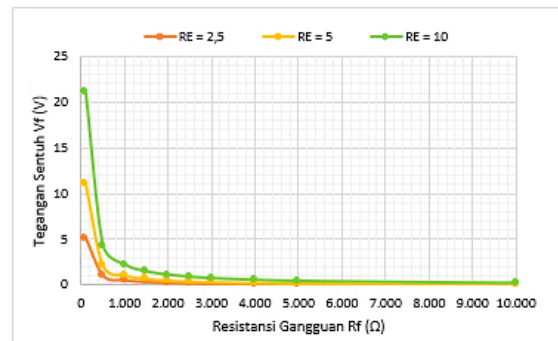


Gambar 17. Grafik I_F (mA) terhadap waktu kerja RCBO (s)

Dari gambar 17 diatas, didapat hasil pengujian tegangan sentuh tidak langsung pada sistem pembumian TT didapat data bahwa waktu kerja RCBO dipengaruhi oleh arus yang melalui pembumian peralatan (BKT). Saat arus yang melalui pembumian peralatan ≥ 30 mA sesuai dengan rating proteksi RCBO untuk manusia maka RCBO akan *trip* dengan waktu pemutusan seketika (*instananeous*). Pada dasarnya waktu pemutusan RCBO akan tetap konstan apabila terdapat arus ≥ 30 mA, namun pada pengujian ini waktu pemutusan RCBO konstan pada 0,06 s. Hal tersebut dapat disebabkan oleh timer H5CX-AN yang terlambat berhenti menghitung saat terjadi *trip*. begitupun sebaliknya saat arus yang mengalir pada RCBO < 30 mA maka RCBO akan dianggap tidak membahayakan manusia hanya akan menimbulkan efek getaran kejut dan RCBO tidak akan bekerja memutus rangkaian.

Berdasarkan PUIL 2020 tabel 41.1 waktu diskoneksi maksimum pada sistem pembumian TT adalah 0,2 s, sedangkan waktu pemutusan RCBO selama pengujian tegangan sentuh tidak langsung sebesar 0,06 sehingga sudah sesuai dengan standar yang berlaku.

2. Pengaruh tahanan gangguan (Rf) terhadap tegangan sentuh tidak langsung pada sistem pembumian TT



Gambar 18. Grafik $R_f (\Omega)$ terhadap $V_f (V)$

Berdasarkan gambar 18 diatas, dari hasil pengujian didapat data bahwa nilai tegangan sentuh tidak langsung pada sistem pembumian TT dipengaruhi oleh nilai tahanan pentanahannya. Nilai tahanan gangguan (R_f) akan berbanding lurus dengan nilai tegangan sentuh (V_f). Berdasarkan hasil pengujian menggunakan nilai resistansi gangguan yang sama tetapi nilai tahanan pentanahannya berbeda menyebabkan nilai tegangan sentuhnya berbeda. Semakin besar nilai tahanan pentanahannya, maka semakin besar pula nilai tegangan sentuhnya. Hal ini dapat membahayakan keselamatan manusia apabila nilai tahanan pentanahan terlalu besar karena nilai tegangan sentuhnya pun akan semakin besar pula. Sesuai dengan PUIL 2000 3.13.2.10 maksimum nilai tahanan pentanahan adalah $\leq 5 \Omega$ agar nilai tegangan sentuhnya tidak berbahaya untuk manusia.

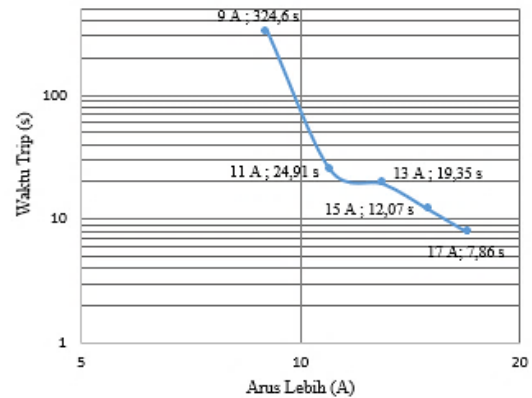
4.2.3. Hasil Pengujian Arus Beban Lebih

Tabel 7. Data Hasil Pegujian Arus Beban Lebih

No	Arus Lebih (A)	RCBO	
		Trip / Tidak Trip	Waktu Trip (s)
1	9	Trip	324,6
2	11	Trip	24,91
3	13	Trip	19,35
4	15	Trip	12,07
5	17	Trip	7,86

Dari tabel 7 diatas dapat dilihat bahwa RCBO akan bekerja ketika diberi arus yang melebihi arus nominal proteksinya yaitu $> 6 A$. Ketika arus lebih sebesar 9 A, RCBO akan trip dalam jangka waktu 324,6 s. Ketika arus beban 11 A, RCBO akan trip dalam jangka waktu 24,91 s. Ketika arus beban 13 A, RCBO akan trip dalam jangka waktu 19,35 s. Ketika arus beban 15 A, RCBO akan trip dalam jangka waktu 12,07 s. Ketika arus beban 17 A, RCBO akan trip dalam jangka waktu 7,86 s.

4.2.3.1. Analisa Hasil Pengujian Arus Beban Lebih



Gambar 19. Grafik I (A) terhadap waktu kerja RCBO (s)

Berdasarkan gambar 19 dari hasil pengujian arus lebih dapat disimpulkan bahwa semakin besar arus lebih yang melalui RCBO maka akan semakin mempercepat waktu pemutusannya sehingga sudah sesuai dengan standar yang berlaku.

5. KESIMPULAN

1. Alat praktikum proteksi tegangan rendah terhadap tegangan sentuh dan beban lebih menggunakan RCBO telah selesai dibuat dan telah dilakukan uji fungsi komponen serta pengujian. Dengan hasil uji alat praktikum berfungsi dengan baik, sesuai dengan perencanaan dan perancangan parameter alat praktikum serta sesuai dengan standar yang berlaku. Sehingga alat praktikum tersebut dapat digunakan sebagai fasilitas kegiatan belajar mengajar pada mata kuliah praktikum proteksi tegangan rendah.
2. Waktu kerja RCBO dipengaruhi oleh arus bocor yang melalui tubuh manusia dan lingkungan kerjanya pada pengujian tegangan sentuh langsung dan arus bocor yang melalui pembumian peralatan (BKT) pada tegangan sentuh tidak langsung dengan sistem pembumian TT. Sehingga ketika arus bocor $\geq 30 \text{ mA}$ RCBO akan bekerja dan memutus rangkaian dalam waktu seketika (instantaneous).
3. Pada pengujian beban lebih, waktu kerja RCBO dipengaruhi oleh besarnya arus beban lebih. RCBO akan bekerja dan memutus

rangkaian apabila arus beban melebihi rating arus nominal proteksi. Semakin besar arus beban lebih yang melalui RCBO maka waktu kerja (pemutusan) pada RCBO akan semakin cepat (*instantaneous*).

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim peneliti menyampaikan rasa terimakasih yang mendalam kepada Politeknik Negeri Bandung, atas dukungan serta bantuan dana dan peminjaman fasilitas sarana prasarana Laboratorium Instalasi Listrik melalui keputusan Ketua Jurusan Teknik Elektro.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. P. (Persero), *Standar Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik*. 2010.
- [2] T. A. A. Maulana, R. S. Lubis, D. Sara, J. Teknik, F. Teknik, and U. S. Kuala, "Analisis Jatuh Tegangan Jaringan Distribusi Primer 20 kV Pada Penyulang Ulee Kareng PT . PLN (Persero) Banda Aceh," pp. 82–89, 2019.
- [3] *Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2020 – Bagian 1 : Pendahuluan , prinsip fundamental dan definisi*. Badan Standar Nasional Indonesia, 2020.
- [4] K. Mirah Mahadewi, I. G. N. Janardana, and I. W. Arta Wijaya, "Analisis Tegangan Langkah Dan Tegangan Sentuh Serta Perencanaan Sistem Pembumian Pada Pembangunan Substation VVIP Di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 6, no. 1, p. 140, 2019, doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i01.p20.
- [5] Sunarto, "Rekonfigurasi Elektroda Pembumian Petir di Laboratorium Instalasi Listrik Politeknik Negeri Bandung," *Prosiding SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan)*, pp. 16–20, 2020.
- [6] M. Y. Imanuddin and F. Achmad, "Perencanaan Sistem Proteksi Pada Distribusi Tenaga Listrik Pada Proyek Kyo Apartment di PT. Alkonusa Teknik Interkon," *Jurnal Pendidikan dan Konseling*, vol. 5, pp. 1633–1639, 2023.
- [7] Sofyar, "Studi Proteksi Electric Shock Pada Instalasi Rumah Tinggal Menggunakan Residual Current Circuit Breaker With Intergral Overload Protection," *Al Ulum Jurnal Sains Dan Teknologi*, vol. 6, no. 2, p. 70, 2021, doi: 10.31602/ajst.v6i2.5217.
- [8] Schneider, "Catalogue Acti9 Isobar P Active Safety System," 2022.
- [9] B. Kusumo and D. Krisnandi, "Analisa Kebocoran Arus Pada Distribusi Listrik Dengan Simulasi Penerapan Rcbo Schneider 1 Phasa 6 Amper Pada Rumah Hunian," *Jurnal Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 81–95, 2023.
- [10] J. C. Situmorang, "Perancangan Sistem Arus Bocor Pada Instalasi Listrik Rumah Tangga Menggunakan ELCB," p. 18, 2021.