SNESTIK

Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika

https://ejurnal.itats.ac.id/snestik dan https://snestik.itats.ac.id

Informasi Pelaksanaan :
SNESTIK IV - Surabaya, 27 April 2024
Ruang Seminar Gedung A, Kampus Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Informasi Artikel:
DOI : 10.31284/p.snestik.2024.5868

Prosiding ISSN 2775-5126

Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi-Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Gedung A-ITATS, Jl. Arief Rachman Hakim 100 Surabaya 60117 Telp. (031) 5945043
Email : snestik@itats.ac.id

Rekayasa Pasangan Sintilator Plastik dengan *Photomultiplier* Silikon untuk Deteksi Radiasi

Rusbani Kurniawan[1,*], Agus Nur Rachman[2]

Pusat Teknologi Riset Keselamatan, Metrologi dan Mutu Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Riset BJ Habibie, Tangerang Selatan 15312, Indonesia
e-mail: [1,*]*alasrosban@gmail.com*, [2]*agus136@brin.go.id*

ABSTRAK

Sintilator plastik dengan detektor *photomultiplier* silikon multisaluran (SiPM) merupakan kemajuan inovatif dalam teknologi deteksi radiasi. Teknologi ini memadukan efisiensi sintilator plastik dengan sensitivitas dan keserbagunaan SiPM multisaluran, sehingga menawarkan solusi canggih untuk berbagai aplikasi. Pada tabung pengganda tradisional, terdapat keterbatasan terkait dimensi yang besar, daya tahan yang rentan, memerlukan tegangan tinggi dan sensitivitas yang masih rendah, sehingga desain detektor ini mengatasi keterbatasan tabung pengganda foto tradisional tersebut. Sifat sistem yang kompak dan modular membuatnya cocok untuk lingkungan yang beragam, memfasilitasi integrasinya ke dalam pengaturan eksperimental atau perangkat pemantauan radiasi portabel. Pengembangan detektor ini diuji secara eksperimental dengan berbagai variasi sumber dan titik dan hasil evaluasi menunjukkan detektor yang dirancang dapat mendeteksi sinar beta dari ^{36}Cl dan ^{90}Sr, serta dapat melokalisasi sumber titik.

Kata kunci: Detektor; pengganda foto silikon; radiasi; sintilator plastik.

PENDAHULUAN

Detektor sintilator plastik menawarkan sejumlah keunggulan, termasuk laju waktu naik dan peluruhan yang cepat, biaya yang relatif rendah, keseragaman optik, stabilitas fisik, transmisi optik yang baik, dan kemudahan penambahan dopan [1]. Keunggulan tersebut menjadikan sintilator plastik digunakan dalam banyak aplikasi seperti detektor kontaminasi radiasi untuk air [2], [3], tanah [4], dan udara [5], kontaminasi radiasi pada pembangkit listrik tenaga nuklir

Fukushima Daiichi [6], dan untuk misi luar angkasa di Stasiun Luar Angkasa Internasional (ISS) [7]. Detektor sintilator plastik yang dilaporkan dalam penelitian [2]–[8] menggunakan tabung *photomultiplier* (PMT) sebagai sensor cahaya.

Pemeriksaan kontaminasi radiasi dari radiasi pengion sangat penting. Partikel alfa dan beta dikenal sebagai radiasi pengion. Berbahaya jika tertelan atau terhirup ke dalam tubuh manusia. Bahan yang terkontaminasi dapat menyebarkan radiasi ke lingkungan. Itulah sebabnya pemeriksaan kontaminasi menjadi wajib di banyak fasilitas nuklir. Pemeriksaan seluruh tubuh (WBC) atau Monitor Kontaminasi Tangan dan Kaki (HFC) dioperasikan di banyak fasilitas yang menggunakan sumber radiasi. WBC digunakan untuk mengukur radiasi dalam tubuh manusia [9]. Sedangkan HFC digunakan untuk mengukur kontaminasi radiasi pada telapak tangan dan permukaan bawah kaki atau sepatu [10]. Perangkat ini umumnya dirancang dengan kristal sintilator tunggal berukuran besar dan PMT. Kelemahan dari detektor ini adalah tidak memberikan kemampuan untuk melokalisasi area kontaminasi. Area kontaminasi yang dideteksi oleh detektor sama besarnya dengan ukuran detektor itu sendiri.

Komponen/material dalam *dekomisioning* dapat terkontaminasi tidak hanya oleh partikel gamma tetapi juga oleh partikel alfa dan beta. Partikel beta dapat mempengaruhi pengukuran sinar gamma. Pengukuran sinar beta perlu dilakukan untuk menyelidiki kontaminasi partikel beta pada material. Diperlukan detektor dengan ukuran lebih kecil dan banyak saluran untuk melokalisasi area kontaminasi pada tubuh manusia atau pada material. Oleh karena itu, pada penelitian ini dikembangkan SiPM multichannel dengan sintilator plastik.Telah dilaporkan dalam beberapa penelitian tentang kinerja sintilator plastik dengan Silicon *photomultiplier* (SiPM) [11]–[13]. SiPM memiliki keunggulan dibandingkan PMT, seperti tegangan operasi yang rendah, tidak sensitif terhadap medan magnet, waktu respons yang cepat, dan ukurannya yang kompak. Hal ini membuat SiPM cocok untuk berbagai aplikasi. Ukuran SiPM yang ringkas membuat pengaturan dalam konfigurasi array menjadi mudah.

METODE

Pada penelitian ini digunakan sintilator plastik BC 400. Sintilator plastik dengan keluaran cahaya tertinggi dan sebagian besar digunakan untuk deteksi alfa dan beta. BC 400 memiliki keluaran cahaya 65, panjang gelombang emisi maksimum 463 nm, waktu naik 0,9 ns, dan waktu peluruhan 2,4 ns. *Scintillator* Plastik dengan ukuran 100 x 100 x 0,5 mm dipasang pada susunan SiPM 8 x 8 menggunakan gemuk optik, ditunjukkan pada Gambar 1 di sisi kiri.

Gambar.1 Sistem detektor sintilator plastik dari kiri; Scintillator plastik ditambah dengan papan SiPM multisaluran, papan dTOT, sistem DAQ.

Interaksi partikel beta dengan sintilator plastik memancarkan cahaya, cahaya ini ditransfer ke SiPM dan diubah menjadi sinyal listrik. Sinyal yang dihasilkan dari SiPM sebanding dengan jumlah cahaya yang masuk ke SiPM. Dalam penelitian ini digunakan SiPM KETEK 6660. Area aktif SiPM berukuran 6,0 x 6,0 mm2 dengan ukuran mikropiksel 60 x 60 μm2 dan jumlah piksel 10.000. Tegangan rusaknya SiPM adalah 25 ± 3 Volt [1].

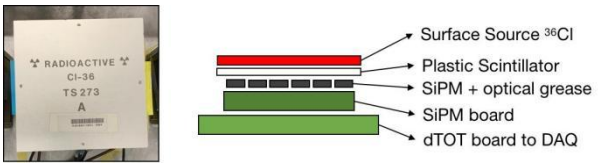
Sistem dTOT digunakan untuk mengubah sinyal analog dari SiPM menjadi sinyal digital yang dapat dibaca oleh sistem DAQ. Masing-masing saluran pada sistem dTOT terdiri dari pre-*amplifier*, pembentuk sinyal, komparator dan mono-stable. Sinyal dari SiPM diperkuat

dan dibalik menjadi sinyal analog positif. Pembentuk mengubah sinyal menjadi pulsa Gaussian. Papan dTOT dengan 64 saluran ditunjukkan pada Gambar 1 di tengah.

Metode dTOT merupakan suatu teknik pengolahan pulsa yang membandingkan amplitudo sinyal analog dari keluaran pembentuk dengan ambang batas yang telah ditentukan untuk menghasilkan pulsa digital. Dalam dTOT, ambang batas yang telah ditetapkan bersifat dinamis. Tingkat ambang batas yang telah ditetapkan berubah berdasarkan tinggi amplitudo sinyal. Pulsa digital dihasilkan oleh rangkaian mono-stabil. Tepi naik pada sinyal digital dipicu oleh sinyal yang melewati ambang batas yang telah ditentukan, dan tepi turun dipicu ketika sinyal analog melewati ambang batas dinamis.

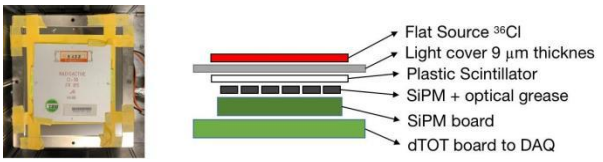
Untuk menyimpan sinyal digital dari papan dTOT, sistem akuisisi data (DAQ) berbasis FPGA. DAQ ini dapat memperoleh 128 saluran secara paralel, dengan sampling rate DAQ ini adalah 1 ns. Untuk mengoperasikan DAQ ini, komputer pribadi khusus telah diatur. Sistem DAQ yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1 di sebelah kanan.

Evaluasi kilau plastik dilakukan dengan menggunakan dua jenis sumber; sumber tipe titik 90Sr dan sumber tipe datar 36Cl. Kedua sumber tersebut merupakan sumber emisi beta. Sumber tipe datar digunakan untuk memeriksa keseragaman respons detektor. Sedangkan point source digunakan untuk mengecek hot spot sumber radiasi. Untuk meniru WBC dan HFC asli, penutup lampu aluminium dirancang. Penutup lampu terdiri dari tiga lapisan aluminium 3 μm, sehingga total tebalnya 9 μm.



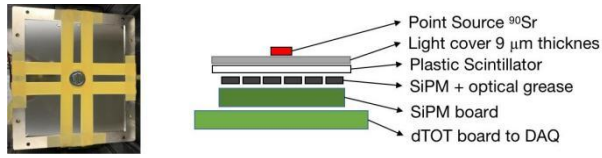
Gambar 2. Pengaturan percobaan dengan sumber tipe datar ^{36}Cl. Di sebelah kiri adalah foto percobaan dan di sebelah kanan adalah tata letak strukturnya.

Gambar 2 menunjukkan pengaturan percobaan dengan sumber tipe datar 36Cl. Eksperimen ini bertujuan untuk mengevaluasi distribusi partikel beta yang terdeteksi pada SiPM multisaluran. Sumber tipe datar 36Cl memancarkan partikel beta dalam arah 2π. Area aktif sumbernya adalah 100 x 100 mm, dengan dimensi keseluruhan 100 x 100 x 3 mm. Pada percobaan ini, sumber tipe datar ditempatkan 5 mm di atas sintilator plastik. *Scintillator* plastik dipasang ke SiPM multisaluran menggunakan pelumas optik.



Gambar 3. Pengaturan percobaan dengan sumber tipe datar ^{36}Cl dengan penutup aluminium. Di sebelah kiri adalah foto percobaan dan di sebelah kanan adalah tata letak strukturnya.

Untuk meniru detektor asli, pelindung aluminium dipasang. Perisai ini berfungsi sebagai penutup cahaya dan menyaring partikel alfa. Penutup lampu dipasang 5 mm di atas sintilator plastik. Sumber tipe datar ditempatkan langsung di atas penutup lampu. Pengaturan percobaan dengan sumber tipe datar ^{36}Cl dengan penutup aluminium disajikan pada Gambar 3.



Gambar 4. Percobaan setup dengan sumber tipe titik 90Sr dengan penutup aluminium. Di sebelah kiri adalah foto percobaan dan di sebelah kanan adalah tata letak strukturnya.

Percobaan pengaturan untuk memeriksa posisi sumber dilakukan dengan menggunakan sumber tipe titik ^{90}Sr. *Scintillator* plastik masih ditutupi penutup tipis, dan ^{90}Sr ditempatkan pada permukaan atas aluminium. Sumber diatur di tengah detektor. Eksperimen ini dilakukan untuk memeriksa kemampuan multisaluran dalam melokalisasi posisi sumber radiasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumber beta lebar ^{36}Cl digunakan untuk mengevaluasi kinerja setiap saluran dalam sistem detektor. Hal ini penting karena setiap saluran memiliki karakteristiknya masing-masing. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 1. Pengecekan jumlah tiap saluran sangat penting untuk mengetahui kinerja setiap saluran.

Sebelum mengukur partikel beta, dilakukan background check untuk memeriksa jumlah hitungan detektor tanpa sumber radiasi. Pengukuran latar belakang dilakukan selama 10 menit. Pada pengukuran ini, dari 64 saluran, hitungan tertinggi tercatat pada saluran 14, yaitu sebanyak 84 hitungan. Hal ini terjadi karena beberapa faktor seperti tingginya tingkat kebisingan pada saluran dTOT dan kualitas SiPM. Total hitungan dari 64 saluran dalam 10 menit adalah 250 hitungan, dengan rata-rata 0,4 hitungan per detik.

Percobaan dengan sumber tipe datar tanpa penutup lampu memakan waktu 5 menit dengan 3 kali pengulangan. Tabel 1 di kolom ketiga menyajikan jumlah rata-rata setiap saluran. Total hitungan dalam 5 menit adalah 35817 hitungan, dengan hitungan per detik sebanyak 119 hitungan dalam 64 saluran. Pada saluran 41 dan 56, hitungan yang direkam rendah. Hal ini mungkin terjadi karena posisi SiPM berada di tepi detektor.

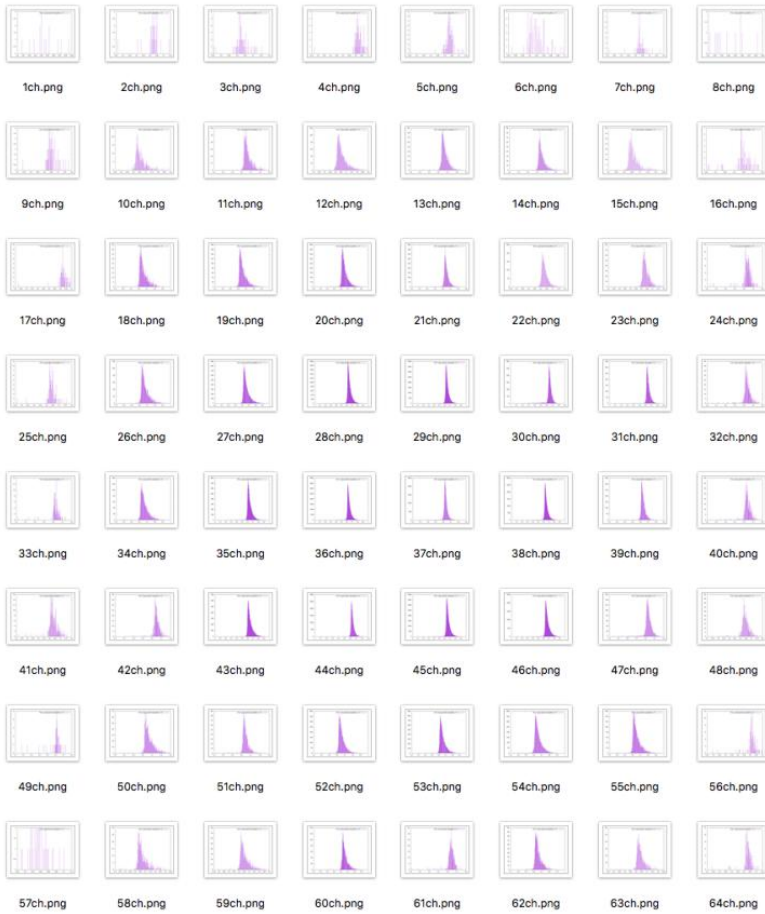
Percobaan dengan penutup cahaya dan sumber beta lebar 36Cl disajikan pada Tabel 1 di kolom kanan. Sumber tipe datar terletak di tengah penutup aluminium. Waktu pengukuran 5 menit dan diulang sebanyak 3 kali. Hasilnya menunjukkan bahwa jumlah rata-rata di setiap saluran mengalami penurunan. Jumlah hitungan total dalam 5 menit adalah 23.422 hitungan, dengan laju penghitungan per detik adalah 78. Sensitivitas detektor berkurang sekitar 65% setelah memasang penutup aluminium, karena aluminium menghentikan beberapa partikel beta.

Kelebihan sistem detektor sintilator plastik yang dikembangkan adalah memiliki sampling rate yang tinggi yaitu 1 ns, dapat membedakan energi kejadian yang berinteraksi dengan detektor dan mencatat kejadian secara paralel. Gambar 5 menunjukkan spektrum energi yang direkam oleh sistem detektor plastik ketika 90Sr digunakan. Hasil ini menunjukkan spektrum pada bagian tengah detektor mempunyai hitungan lebih banyak dibandingkan dengan saluran pada daerah tepi.

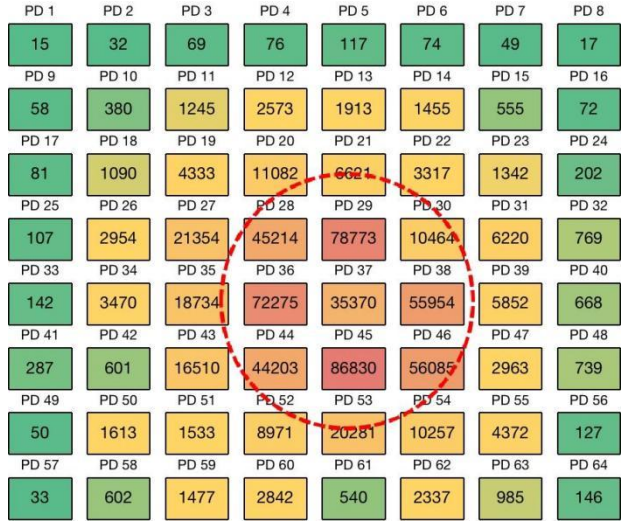
Peta warna berdasarkan jumlah hitungan dalam saluran ditunjukkan pada Gambar 6. Peta warna ini mewakili posisi ^{90}Sr pada detektor. Hitungan tinggi tercatat pada Saluran 28, 29, 30, 36, 37, 38, 45, 46, dan 47 yang ditandai dengan garis merah. Saluran tetangga juga memiliki jumlah yang tinggi karena sinar beta dihamburkan oleh aluminium dan sintilator plastik. Cahaya yang dipancarkan dari sintilator plastik tunggal yang lebar menyebar ke segala arah menyebabkan SiPM berikutnya menerima cahaya hamburan dan menghitungnya sebagai suatu peristiwa. Meskipun demikian, percobaan membuktikan penggunaan SiPM multi-saluran dapat melokalisasi posisi sumber beta.

Tabel 1. Jumlah hitungan pada SiPM multisaluran dengan percobaan sumber datar ^{36}Cl.

Ch	Background	Without Light Cover	With Light Cover
	Count /10 min	Count / 5 min	Count / 5 min
		Avg	Avg
1	1	18	9
2	1	259	199
3	2	225	147
4	1	188	99
5	0	13	3
6	3	329	174
7	0	28	2
8	1	525	113
9	2	263	224
10	1	347	274
11	3	993	757
12	1	302	179
13	0	557	344
14	84	2891	1861
15	2	318	169
16	0	248	55
17	0	115	74
18	2	699	550
19	0	346	244
20	2	787	557
21	1	504	315
22	3	419	219
23	1	643	296
24	1	28	2
25	2	250	220
26	4	786	724
27	9	1352	1140
28	4	713	475
29	0	489	331
30	1	502	300
31	3	423	186
32	8	1158	514
33	2	50	25
34	5	927	779
35	2	826	698
36	8	1232	974
37	0	107	78
38	1	270	134
39	6	699	357
40	1	208	75
41	0	8	6
42	0	13	8
43	3	210	171
44	6	853	728
45	3	513	354
46	8	1913	1308
47	0	62	21
48	0	618	289
49	2	200	152
50	7	964	693
51	2	103	57
52	5	946	730
53	6	911	651
54	4	593	320
55	3	1435	950
56	0	9	3
57	3	349	201
58	5	1211	768
59	7	1084	651
60	3	264	147
61	3	137	70
62	10	1389	848
63	1	389	177
64	1	608	241
Total	250	35817	23423



Gambar 5. Spektrum energi dicatat oleh sistem detektor sintilator plastik.



Gambar 6. Peta warna didasarkan pada jumlah hitungan di setiap saluran untuk percobaan ^{90}Sr.

KESIMPULAN

Sistem detektor sintilator plastik menggunakan BC 400 ditambah dengan SiPM multi-channel dan sistem DAQ canggih telah dievaluasi. Sumber beta area luas ^{36}Cl dan sumber titik ^{90}Sr digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem detektor. Evaluasi dengan sumber beta datar menunjukkan seluruh saluran SiPM telah merespons sinar beta yang dipancarkan dari sumber. Sensitivitas detektor berkurang menjadi 65% setelah penutup lampu aluminium 9 µm diterapkan. Hal ini terjadi karena sebagian sinar beta dihentikan oleh aluminium. Evaluasi dengan sumber titik ^{90}Sr menunjukkan detektor dapat melokalisasi posisi sumber beta. Hasil ini membuktikan bahwa SiPM multi-channel dapat diterapkan untuk melokalisasi sumber beta. Hal ini dapat diterapkan untuk melokalisasi kontaminasi beta pada tubuh manusia dengan mengaplikasikannya pada penghitung seluruh tubuh dan penghitung tangan dan kaki. Detektor ini juga dapat diterapkan untuk melokalisasi kontaminasi limbah nuklir. Hal ini dapat membantu proses pembersihan ketika melakukan dekontaminasi di fasilitas nuklir.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Yilmaz *et al.*, "Towards a better understanding of detection properties of different types of plastic scintillator crystals using physical detector and MCNPX code," *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 54, no. 12, pp. 4671–4678, Dec. 2022.

[2] U. J. Lee, W. N. Choi, J. W. Bae, and H. R. Kim, "Fundamental approach to development of plastic scintillator system for in situ groundwater beta monitoring," *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 51, no. 7, pp. 1828–1834, Oct. 2019.

[3] D. Badocco *et al.*, "Realization and characterization of a protective coating for plastic scintillators used as sensors of radioactive contaminants in water," *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, vol. 906, pp. 50–55, Oct. 2018.

[4] J. W. Bae and H. R. Kim, "Plastic scintillator beta ray scanner for in-situ discrimination of beta ray and gamma ray radioactivity in soil," *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 52, no. 6, pp. 1259–1265, Jun. 2020.

[5] Y. Morishita, Y. Ye, L. Mata, S. A. Pozzi, and K. J. Kearfott, "Radon measurements with a compact, organic-scintillator-based alpha/beta spectrometer," *Radiat. Meas.*, vol. 137, Sep. 2020.

[6] Y. Morishita, K. Hoshi, and T. Torii, "Evaluation of an ultra-thin plastic scintillator to detect alpha and beta particle contamination," *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, vol. 966, Jun. 2020.

[7] A. Rizzo *et al.*, "A compact Time-Of-Flight detector for space applications: The LIDAL system," *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, vol. 898, pp. 98–104, Aug. 2018.

[8] T. Ishikawa *et al.*, "Time resolution of a 1.8-m long BC-420 plastic scintillator bar with metal-packaged H11934 photomultiplier tubes," *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, vol. 1039, Sep. 2022.

[9] S. Sugiyana, H. Prasetio, A. Ikram, M. Syaifudin, and H. N. E. Surniyantoro, "Worker Health Monitoring Through Whole Body Counter Examination for Safety and Radiation Protection (2017-2019 Data)," *J. Kesehat. Masy.*, vol. 17, no. 2, pp. 193–203, Oct. 2021.

[10] F. Akter, F. Hafiz, M. A. S. Haque, M. Hoq, and M. Hasan, "Design and Development of Hand and Foot Contamination Monitor," 2014.

[11] W. M. Steinberger, M. L. Ruch, A. Di-Fulvio, S. D. Clarke, and S. A. Pozzi, "Timing performance of organic scintillators coupled to silicon photomultipliers," *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, vol. 922, pp. 185–192, Apr. 2019.

[12] R. Onda *et al.*, "Optimal design of plastic scintillator counter with multiple SiPM readouts for best time resolution," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 936. Elsevier B.V., pp. 563–564, 21-Aug-2019.
[13] M. L. Cortés *et al.*, "Silicon photomultipliers as readout for a segmented Time-of-Flight plastic detector," *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, vol. 899, pp. 101–105, Aug. 2018.