

PENGUKURAN KECEPATAN DRIFT ELEKTRON DENGAN DETEKTOR GAS YANG DIOPERASIKAN PADA MODE SQS (SELF-QUENCHING STREAMER)

Susilo Widodo

Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENGUKURAN KECEPATAN DRIFT ELEKTRON DENGAN DETEKTOR GAS YANG DIOPERASIKAN PADA MODE SQS (SELF-QUENCHING STREAMER). Telah dilakukan pengukuran karakteristik *drift* elektron (tingkah laku elektron dalam perjalanan sejak dari proses pengionan, penggandaan muatan sampai mencapai kawat anoda detektor gas) di dalam beberapa macam campuran gas yang dialirkan ke dalam suatu pencacah proposional beranoda tunggal. SWPC. Pencacah proposional tersebut dioperasikan pada tegangan kerja di daerah transisi antara mode proposional dan mode baru dalam detektor gas yang dikenal dengan mode pita muatan swapadam atau SQS (Self-Quenching Streamer). Dari hasil percobaan diketahui bahwa pulsa keluaran mode SQS dapat dimanfaatkan untuk pengukuran kecepatan *drift* elektron di dalam campuran-campuran gas pengisi detektor. Dalam percobaan ini telah diukur kecepatan *drift* elektron di dalam campuran gas (70% Ar+30% CH₄) dan (70% Ne+30% CH₄) masing-masing dengan penambahan etanol (C₂H₅OH) antara 0 dan 6%. Hasil pengukuran menunjukkan adanya konsistensi dengan data kecepatan *drift* elektron yang diukur dengan metode lain yang dilakukan oleh kelompok lain. Metode ini relatif sederhana, dapat digunakan untuk pengukuran kecepatan *drift* elektron di suatu detektor gas secara langsung, dan dapat diperoleh data kecepatan *drift* elektron dalam rentang medan listrik yang cukup lebar.

ABSTRACT

MEASUREMENT OF ELECTRON DRIFT VELOCITY WITH GAS DETECTOR OPERATED IN SQS (SELF-QUENCHING STREAMER) MODE. Characteristics of electron drift (the properties of electron started with ionization and charge multiplication processes, and then reach anode wire of a gas detector) have been measured in several gas mixtures flowed into a single wire proportional counter (SWPC). The SWPC has been operated in the transition region between proportional mode and a new mode in gas detector called SQS (Self-Quenching Streamer). As a result, output pulses of the SQS mode are applicable for measurement of drift velocity of the electrons in the filling gas mixtures. In this experiment, the drift velocity of electrons in (70% Ar+30% CH₄) and (70% Ne+30% CH₄) gas mixtures with additional of ethanol vapor (C₂H₅OH) of 0-6% have been measured. The results show the consistency of the drift velocity with drift velocity data measured by other group with other method. This method is relatively simpler. It can be used for direct measurement of drift velocity of electrons in a gas detector and will give drift velocity data in a wide range of electric field.

PENDAHULUAN

Medan listrik eksternal yang diberikan pada suatu detektor gas akan menggerakkan sejumlah elektron dan ion positif hasil pengionan gas di dalam ruang aktif detektor, masing-masing ke arah anoda (elektroda positif) dan katoda (elektroda negatif). Kecepatan rata-rata gerakan elektron/ion yang mengikuti garis gaya medan listrik eksternal tersebut dapat didefinisikan sebagai kecepatan *drift* (drift velocity) [1]. Data kecepatan *drift* elektron di dalam berbagai jenis/komposisi gas sangat diperlukan dalam rancang bangun berbagai tipe detektor

gas misalnya kamar pengionan pencacah GM, dan beberapa jenis pencacah proporsional, antara lain pencacah proporsional beranoda tunggal, SWPC (Single Wire Proportional Counter), pencacah proporsional beranoda ganda, MWPC (Multi Wire Proportional Counter) dan kamar *drift*, DC (Drift Chamber). Selain itu data tersebut juga diperlukan dalam bidang fisika inti, fisika plasma dan berbagai bidang lain yang berhubungan dengan masalah lucutan gas (gas discharge). Hal ini karena kecepatan *drift* elektron erat hubungannya dengan mobilitas

elektron dan penampang lintang hamburan elektron di dalam gas.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengukur kecepatan *drift* elektron di dalam gas. Prinsip dasar pengukuran tersebut adalah mengukur waktu *drift* elektron untuk jarak tertentu dalam gerakannya menuju anoda.

Metode yang telah lama dikembangkan adalah dengan menggunakan detektor gas yang berupa plat elektroda sejajar sehingga ruang aktifnya bermedan listrik homogen. Sejumlah elektron yang akan diukur kecepatan *drift*nya dibebaskan tepat di dinding katoda dengan suatu pembangkit elektron (misal, filamen panas) sehingga bila diketahui jarak antara plat-plat elektroda dan waktu tempuh elektron untuk mencapai anoda, maka akan diperoleh data kecepatan *drift* elektron [1].

Pembebasan elektron juga dapat ditempuh dengan sinar laser yang terfokus melalui proses pengionan gas di posisi-posisi tertentu yang dikehendaki [2]. Pengukuran kecepatan *drift* elektron juga dapat dilakukan dengan menggunakan kamar *drift* yang khusus dirancang untuk keperluan tersebut. Karena menggunakan medan listrik homogen, metode-metode tersebut di atas hanya dapat memberikan data kecepatan *drift* untuk kuat medan listrik yang relatif rendah dan dalam rentang medan listrik yang relatif sempit.

Metode yang akhir-akhir ini sering digunakan adalah dengan detektor gas tipe SWPC dan sinar laser yang terfokus [3]. Dengan metode ini dapat diperoleh data kecepatan *drift* dengan ketelitian yang relatif tinggi dan dalam rentang medan listrik yang relatif lebar. Kelemahan metode ini adalah diperlukannya peralatan yang lebih rumit, antara lain memerlukan dinding katoda yang dapat tembus sinar laser. Selain itu tidaklah mudah memperoleh sinar laser yang terfokus sempurna yang hanya mengionisasikan elektron pada posisi-posisi yang dikehendaki.

Dalam makalah ini akan dibahas sebuah metode baru untuk pengukuran *drift* elektron dengan SWPC yang dioperasikan pada tegangan transisi antara mode proporsional dan mode SQS (Self-Quenching Streamer). Mode SQS adalah mode baru dalam detektor gas yang mulai dikenal sejak awal tahun 1980an. Metode ini ditemukan secara tidak terencana ketika penulis melakukan penelitian mengenai karakteristik *drift* elektron di dalam suatu detektor gas yang dioperasikan pada tegangan transisi antara

mode proporsional dan mode SQS [4]. Penelitian ini semula dimaksudkan untuk menyelidiki proses pelipatgandaan muatan (*charge multiplication*) dan pengaruh karakteristik *drift* elektron terhadap proses pembentukan pita muatan (*streamer*) pada mode SQS. Metode baru ini relatif sederhana karena dimungkinkan untuk menggunakan sinar- β sebagai pembangkit elektron melalui proses pengionan gas. Keuntungan penggunaannya sinar- β adalah relatif mudah diperoleh (dibeli), harganya relatif murah dan dapat menembus dinding katoda dari bahan mylar tipis berlapiskan Al.

Dalam makalah ini dilaporkan pula hasil pengukuran kecepatan *drift* elektron di dalam beberapa campuran gas yang lazim digunakan sebagai pengisi detektor yaitu campuran antara gas Ar atau Ne dan gas metan (CH_4) yang diberi tambahan beberapa persen uap etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$).

TEORI

Mode SQS

Pada akhirnya tahun 1970an beberapa ahli [5,6] melaporkan pengamatan mereka tentang pulsa keluaran yang jauh lebih tinggi daripada pulsa keluaran pencacah proporsional bila suatu detektor gas tegangan kerjanya dioperasikan di atas tegangan kerja pencacah proporsional. Amplitudo pulsa tersebut setinggi pulsa pencacah GM atau kira-kira seratus kali lebih tinggi daripada pulsa pencacah proporsional. Hasil studi membuktikan bahwa pulsa setinggi pulsa pencacah GM tersebut berasal dari mode baru detektor gas. Mode baru ini mempunyai karakteristik yang berbeda dengan mode yang selama ini dikenal dalam detektor gas yaitu kamar pengionan, proporsional dan Geiger. Karakteristik mode baru tersebut antara lain :

1. Pulsa keluarannya relatif tinggi (sekitar 100 mV/50 Ohm) dan dapat diamati baik melalui keluaran dari katoda maupun anoda.
2. Pulsa keluaran tersebut relatif sangat cepat dengan waktu bangkit pulsa (*rise time*) sekitar 3-6 nano-detik dan tidak diikuti dengan waktu mati (*dead time*) yang besar.
3. Distribusi spasial gumpalan muatan (*avalanche*) di sepanjang kawat anoda terlokalisasi hanya di suatu posisi tertentu tidak jauh dari tempat pengionan gas yang pertama terjadi.
4. Ketergantungan antara tinggi pulsa dan energi radiasi menurun.
5. Terdapat diskontinuitas (lonjakan secara tiba-tiba) tinggi pulsa pada daerah transisi

dari mode proporsional ke mode baru tersebut.

Karakteristik nomor 1 dan 4 mirip dengan karakteristik pencacah GM. Sedang karakteristik nomor 3 mirip dengan karakteristik pencacah proporsional. Karakteristik nomor 2 sangat istimewa karena waktu bangkit mode baru ini jauh lebih cepat daripada waktu bangkit pencacah GM (beberapa milidetik) ataupun pencacah proporsional (beberapa mikrodetik), bahkan menyamai waktu bangkit detektor sintilasi ataupun semikonduktor, yaitu dalam orde nanodetik.

Dengan demikian mode detektor gas telah bertambah satu dengan sifat-sifat yang berbeda dengan mode yang telah dikenal yaitu mode pengionan, proporsional dan GM. Mode baru tersebut kemudian oleh banyak ahli dinamakan dengan mode pita muatan swapadam (Self-Quenching Streamer Mode atau Self-Quenched Streamer Mode) yang disingkat dengan SQS.

Sampai sekarang fenomena transisi dari mode proporsional ke mode SQS masih merupakan ajang penelitian yang menarik. Telah diketahui bahwa lonjakan secara tiba-tiba disebabkan oleh proses pelipatgandaan muatan yang masih tetap berlanjut meskipun telah terbentuk suatu gumpalan muatan sebagaimana yang terjadi pada mode proporsional [5,6]. Hal tersebut menyebabkan terbentuknya banyak gumpalan muatan baru. Berbeda dengan yang terjadi pada mode GM, pada mode SQS gumpalan-gumpalan baru tersebut tidak menyebar ke sepanjang kawat anoda, melainkan menumpuk di belakang (dipandang dari kawat anoda) gumpalan muatan yang terbentuk sebelumnya. Tumpukan gumpalan-gumpalan muatan tersebut bisa mencapai panjang 2-4 mm [6] dan membentuk suatu pita muatan yang tegak lurus kawat anoda. Hal inilah yang menyebabkan timbulnya karakteristik nomor 3.

Telah banyak publikasi yang membahas hipotesa dan teori untuk menjelaskan fenomena terbentuknya pita muatan pada mode SQS [7,8,9,10], namun belum ada satu teoripun yang dapat menjelaskan fenomena tersebut secara lengkap. Teori-teori tersebut tidak akan dibahas pada makalah ini, namun pada dasarnya ada dua unsur penting yang berperan dalam proses pelipatgandaan muatan sampai terbentuknya pita muatan yaitu gerakan elektron karena pengaruh medan listrik yang relatif tinggi dan timbulnya sejumlah foton dengan jalan bebas rata-rata sangat pendek sehingga penyebaran

terbatas. Yang menarik perhatian penulis adalah sejauh mana pengaruh kecepatan *drift* elektron, terutama di daerah sekitar kawat anoda yang kuat medan listriknya tinggi, terhadap proses pembentukan pita muatan tersebut.

Drift elektron.

Bila di suatu ruangan yang berisi gas (misal, di dalam suatu detektor gas) terdapat sejumlah elektron dan ion positif dan di ruangan tersebut diberi medan listrik eksternal, maka gaya elektrostatik akan menggerakkan ion-ion dan elektron-elektron tersebut masing-masing searah dan berlawanan arah dengan arah garis gaya medan listrik. Jadi ion-ion positif akan bergerak ke arah katoda dan elektron-elektron akan bergerak ke arah anoda. Kecepatan rata-rata sejumlah ion ataupun sejumlah elektron tersebut didefinisikan sebagai kecepatan *drift*, v . Dalam hal ion positif, kecepatan *drift* karena pengaruh kuat medan listrik, E , dapat diperkirakan secara akurat dengan hubungan sederhana [11]:

$$v = \mu E/P \quad (1)$$

μ adalah mobilitas ion yang besarnya relatif konstan untuk kuat medan listrik dengan rentang yang cukup lebar dan untuk berbagai variasi tekanan gas, P . Di dalam campuran-campuran gas yang lazim digunakan sebagai pengisi detektor dengan tekanan gas 1 atmosfer dan kuat medan listrik 10 kV/m maka kecepatan *drift* ion adalah dalam orde 1 m/detik. Kecepatan *drift* ion ini jauh lebih lambat (sekitar 1/1000) daripada kecepatan *drift* elektron. Karena massa elektron sangat kecil, walaupun dalam gerakannya menuju anoda mengalami tumbukan-tumbukan dengan molekul-molekul gas, energi atau kecepatan elektron akan meningkat dengan cepat. Jadi mobilitas elektron tidaklah konstan, bergantung pada kuat medan listrik eksternal, tekanan gas dan jenis serta komposisi campuran gas.

Dalam formula yang sederhana, kecepatan *drift* elektron dapat diperkirakan dengan persamaan [11]:

$$v = e/2mET \quad (2)$$

e dan m adalah muatan elementer dan massa elektron dan T adalah waktu interval rata-rata di antara dua tumbukan yang secara umum merupakan fungsi dari kuat medan listrik, E dan tekanan gas, P . Telah diketahui bahwa penampang lintang tumbukan (collision cross-section) elektron, dan ini berhubungan dengan

T, di dalam berbagai jenis gas sangat bervariasi dengan kuat medan listrik. Misal, penampang lintang tumbukan elektron di dalam gas Ar, dengan semakin tinggi kuat medan listrik akan naik mencapai maksimum, kemudian turun mencapai minimum dan kemudian. Hal ini dikenal dengan efek minimum Ramsauer [12].

Masih ada beberapa teori yang membahas tentang kecepatan *drift* sekaligus dengan pengaruh efek difusi elektron di dalam gas [13, 14] yang tidak akan dibahas dalam makalah ini. Dengan adanya efek difusi terhadap sejumlah elektron di dalam medan listrik, maka selain mempunyai kecepatan dengan arah sejajar dengan garis gaya medan listrik, elektron juga mempunyai komponen kecepatan dengan arah tegak lurus garis gaya medan listrik. Untuk keperluan praktis, Biagi [3] dkk. telah menurunkan suatu persamaan milik J. Lucas, [15] untuk mengoreksi kecepatan *drift* elektron dari hasil suatu pengukuran akibat efek difusi sebagai berikut :

$$v_{\text{eff}} = v(1 - 4\alpha D/v)^{1/2} \quad (3)$$

dengan v_{eff} adalah kecepatan *drift* efektif yang diperoleh dari hasil pengukuran, α adalah koefisien pelipatgandaan muatan dan D adalah koefisien difusi yang besarnya juga bergantung dari kuat medan listrik, E .

BAHAN, ALAT DAN TATAKERJA

Bahan dan Peralatan.

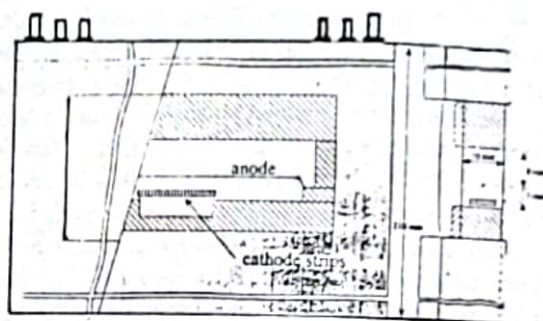
Dalam percobaan ini digunakan peralatan dan bahan sebagai berikut :

- pencacah proporsional beranoda tunggal (SWPC).
- pencacah sintilasi dengan sintilator plastik dengan panjang 450 mm, lebar (tebal) 15 mm dan tinggi 40 mm.
- 2 unit penguat awal.
- 2 unit penguat spektroskopi (ORTEC).
- 2 unit TSCA (Timing Single Channel Analyzer, ORTEC).
- TAC (Timing to Amplitudo Converter, CANBERRA).
- ADC (Analog to Digital Converter).
- komputer Personal PC-9801 dan beberapa perangkat lunak.
- sumber radiasi ^{90}Sr dengan aktivitas 2 MBq.
- kolimator sumber dengan panjang 30 mm dan garis tengah lubang kolimator 0,5 mm.
- alat pengatur posisi sumber radiasi.
- gas Ar, Ne, metan (CH_4), uap etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) dan peralatan pencampur.

- beberapa alat bantu antara lain osiloskop, pembangkit pulsa dan lain-lain.

Hampir seluruh peralatan tersebut di atas dibuat sendiri di Universitas Kyushu, Fukuoka, Jepang, kecuali penguat spektrometri, TSCA, TAC dan PC-9801.

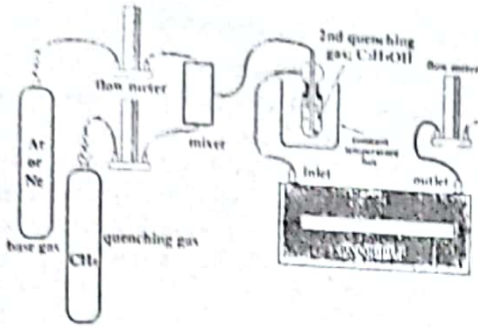
SWPC yang digunakan adalah pencacah proporsional tipe alir gas (*gas flow*) yang biasa digunakan sebagai pencacah proporsional peka posisi yang berbentuk kotak empat persegi panjang. Bagan pencacah secara sederhana disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan dan penampang lintang SWPC

Rangka luar pencacah ini dibuat dari bahan Al berbentuk balok dengan ukuran $600 \times 210 \times 40 \text{ mm}^3$ dengan dinding-dinding di kedua sisinya dari bahan Al setebal 5 mm. Di dalam rangka Al tersebut dipasang pencacah proporsional dengan penampang lintang sebesar $11 \times 10 \text{ mm}^2$ dan panjang 500 mm yang merupakan volume aktif pencacah. Sebagai jalan masuk radiasi pengionan ke dalam ruang aktif pencacah, pada dinding-dinding katoda di sepanjang pencacah dibuat jendela (*window*) yang dibuat dari bahan mylar berlapis Al setebal 0,006 mm. Kawat anoda dari bahan Ni-Cr dengan garis tengah 0,05 mm dipasang pada posisi 3 mm dari dinding katoda sebelah bawah, sehingga SWPC ini mempunyai ruang *drift* sepanjang 8 mm di bagian sebelah atas kawat anoda.

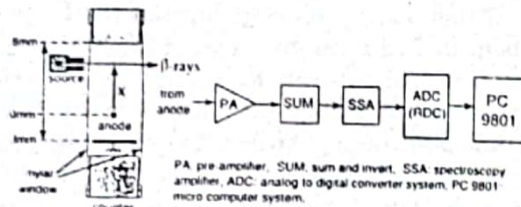
Untuk mengalirkan campuran gas ke dalam detektor digunakan alat ukur alir gas (*flow meter*), pencampur (*mixer*), dan suatu kotak yang dilengkapi dengan kontrol temperatur untuk menentukan konsentrasi uap etanol yang diletakkan di dalam kotak tersebut. Bagan susunan sistem pencampur dan pengalir gas tersebut disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan sistem pengaliran dan pen- campuran gas pengisi detektor.

Tata Kerja.

Dalam penelitian ini dilakukan tahap- tahap percobaan sebagai berikut : Pertama-tama, untuk mengetahui tegangan kerja daerah transisi antara mode proporsional dan mode SQS perlu dilakukan pengukuran karakteristik pelipatgandaan muatan pada campuran-campuran gas pengisi detektor. Di dalam campuran-campuran itu pula kecepatan *drift* elektron akan diukur. Bagan susunan peralatan yang terdiri atas sumber radiasi sinar- β ^{90}Sr , SWPC dan beberapa rangkaian elektronik pengolah pulsa yang digunakan untuk pengukuran karakteristik pelipatgandaan muatan disajikan pada Gambar 3.

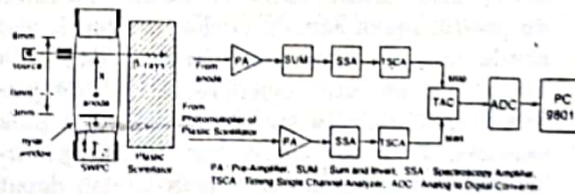


Gambar 3. Bagan susunan peralatan untuk pengukuran karakteristik pelipatgandaan muatan di dalam detektor gas yang terdiri atas sumber radiasi ^{90}Sr , SWPC dan beberapa unit rangkaian elektronik pengolah pulsa.

Pengukuran ini dimaksudkan untuk mengukur besar gumpalan muatan (*avalanche size*) yang menggambarkan jumlah muatan hasil pelipatgandaan. Dengan dimulai dari tegangan tinggi yang dapat memberikan pulsa keluaran mode proporsional, tegangan tinggi detektor dinaikkan tahap demi tahap dengan ke-

naikan sebesar 50 V dan dilakukan pencatatan tinggi pulsa puncak-puncak spektrum yang tampil pada layar komputer PC- 9801 untuk setiap harga tegangan tinggi. Penaikan tegangan tinggi tersebut dihentikan setelah muncul dua atau lebih puncak-puncak di dalam spektrum tinggi pulsa, yang berarti telah mencapai tegangan transisi antara mode proporsional dan mode SQS. Munculnya dua puncak atau lebih pertanda bahwa di samping pulsa proporsional, telah muncul pula puncak yang berasal dari pulsa keluaran mode SQS. Dari pencatatan tinggi pulsa puncak-puncak tersebut akan diperoleh kurva hubungan antara tegangan tinggi detektor dan tinggi pulsa. Tinggi pulsa tersebut dapat dikonversikan menjadi besar gumpalan muatan dengan mengkalibrasi sistem elektronik pengolah pulsa dengan suatu rangkaian RC (kapasitor dan resistor) dan suatu pembangkit pulsa (*pulse generator*) yang berpresisi tinggi.

Tahap selanjutnya adalah pengukuran karakteristik *drift* elektron di dalam SWPC. Pencacah dioperasikan di daerah tegangan transisi antara mode proporsional dan mode SQS. Bagan susunan peralatan yang digunakan untuk pengukuran karakteristik *drift* elektron disajikan pada Gambar 4, terdiri dari sumber radiasi yang dapat diubah-ubah posisinya secara vertikal, dua macam detektor yaitu SWPC dan pencacah sintilasi dengan sintilator plastik, serta rangkaian - rangkaian elektronik pengolah pulsa.



Gambar 4. Bagan susunan peralatan untuk pengukuran karakteristik *drift* elektron di dalam gas detektor yang terdiri atas sumber radiasi ^{90}Sr , SWPC, detektor sintilasi dan beberapa unit rangkaian elektronik pengolah pulsa.

Dalam percobaan ini, besaran yang diukur adalah waktu *drift* (*drift time*) elektron, yaitu waktu yang diperlukan sejumlah elektron ha-

sil pengionan gas untuk mencapai kawat anoda SWPC.

Adapun metode pengukuran waktu *drift* elektron tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut : Sinar β yang berasal dari sumber radiasi ^{90}Sr akan menembus dinding katoda SWPC yang terbuat dari bahan *mylar* tipis berlapis Al, melintasi ruang aktif detektor sambil mengionisasikan atom/molekul gas pengisi detektor. Sinar β tersebut pada saat yang hampir bersamaan juga terdeteksi pada pencacah sintilasi yang diletakkan di belakang SWPC. Telah diketahui bahwa pulsa keluaran pencacah sintilasi mempunyai waktu bangkit sangat cepat, yaitu hanya beberapa nano-detik. Dengan kata lain pencacah sintilasi mempunyai respon sangat tinggi. Dengan demikian hampir tidak ada selisih waktu yang berarti antara keluarnya pulsa pada pencacah sintilasi dan proses pengionan gas oleh sinar β di dalam SWPC. Oleh karena itu pulsa-pulsa dari pencacah sintilasi dapat dijadikan pulsa *start* dalam pengukuran waktu *drift* elektron. Sementara itu, pulsa-pulsa keluaran dari SWPC datang lebih lambat karena sebelum terjadi proses penggandaan muatan beberapa mikro-meter dari kawat anoda, elektron harus melakukan *drift* sepanjang X dengan kecepatan *drift* dalam orde 10^4 m/detik. Oleh sebab itu pulsa keluaran dari kawat anoda SWPC dapat dijadikan pulsa *stop*. Waktu *drift* elektron dapat dihitung dari selisih waktu antara pulsa *start* dan pulsa *stop*.

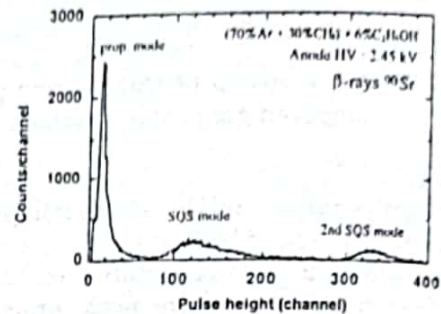
Pengukuran waktu *drift* elektron dilakukan untuk variasi X, dengan perubahan X sebesar 0,5 mm. Karena kawat anoda diberi tegangan positif, maka semakin dekat dengan kawat anoda medan listrik semakin kuat dan naik hampir mendekati eksponensial. Jadi dengan membuat variasi harga X akan diperoleh pula variasi kuat medan listrik. Dari hasil pengukuran waktu *drift* elektron dengan mudah dapat dideduksi *drift* sebagai fungsi dari kuat medan listrik.

Kemudian pengukuran kecepatan *drift* elektron dilakukan untuk beberapa campuran gas pengisi detektor yaitu (70% Ar + 30% CH_4) dan (70% Ne + 30% CH_4) dan campuran-campuran tersebut dengan penambahan uap etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) antara 0-6%. Uap etanol dalam konsentrasi kecil sering ditambahkan ke dalam campuran gas pengisi detektor dengan fungsi sebagai gas pemadam foton (*quenching gas*) agar detektor lebih stabil.

HASIL DAN PEMBAHASAN.

Karakteristik pelipatgandaan elektron.

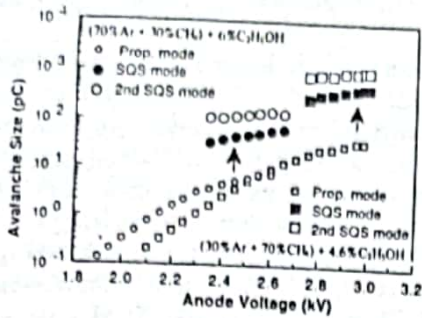
Gambar 5 adalah salah satu contoh spektrum tinggi pulsa pada saat tegangan tinggi detektor gas dioperasikan pada daerah transisi antara mode proporsional dan SQS, yaitu pada tegangan tinggi sebesar 2,45 kV untuk campuran gas (70%Ar+30% CH_4) + 6% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.



Gambar 5. Suatu spektrum tinggi pulsa di daerah tegangan kerja transisi 50% antara mode proporsional dan mode SQS yang pada tegangan tersebut sekitar 50% pulsa-pulsa proporsional akan menjelma menjadi pulsa SQS. $X = 0$ mm.

Terlihat pada spektrum bahwa selain pulsa-pulsa proporsional yang membentuk puncak (peak) yang berada paling kiri pada spektrum, di sebelah kanan muncul puncak SQS yang terbentuk dari pulsa-pulsa yang tingginya puluhan sampai ratusan kali lebih besar daripada pulsa-pulsa proporsional. Selain itu muncul pula puncak SQS ke dua (2nd SQS) dengan tinggi pulsa lebih besar daripada puncak SQS. Bila tegangan tinggi diturunkan pelan-pelan dari harga 2,45 kV, maka puncak SQS dan 2nd SQS akan semakin sedikit dan akhirnya menghilang dan pulsa-pulsa SQS dan 2nd SQS semakin banyak. Gambar 6 menunjukkan data besar gumpalan muatan untuk dua campuran gas yang berbeda dengan variasi harga tegangan transisi detektor.

Anak panah pada Gambar 6 menunjukkan tegangan transisi 50%, maksudnya adalah pada tegangan tersebut kebolehjadian terbentuknya pulsa-pulsa SQS adalah sebesar 50%. Dengan kata lain pada tegangan tersebut sekitar 50% dari pulsa proporsional telah berubah menjadi pulsa SQS. Terlihat bahwa untuk campuran gas yang berbeda, maka tegangan transisi 50% juga berbeda.



Gambar 6. Ukuran gumpalan muatan sebagai fungsi dari tegangan kerja detektor untuk dua macam campuran gas. Anak panah menunjukkan tegangan transisi 50% dari mode proporsional ke mode SQS.

Karakteristik drift elektron.

Karakteristik drift elektron pada suatu SWPC selain bergantung pada jenis campuran gas pengisinya, sangat dipengaruhi oleh ketidakhomogenan kuat medan listrik di dalam SWPC tersebut. Untuk suatu SWPC dengan penampang lintang berbentuk lingkaran dan kawat anoda berada di pusat lingkaran maka kuat medan listrik pada jarak r dari kawat anoda dapat dituliskan dengan persamaan :

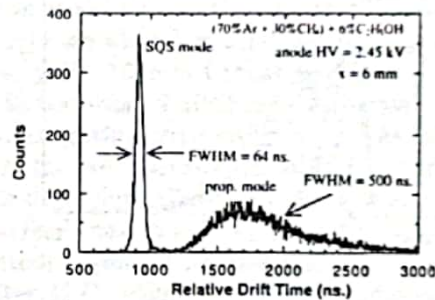
$$E = V/r \ln (a/b) \quad (4).$$

dengan V adalah tegangan tinggi kawat anoda, a jari-jari kawat anoda dan b jari-jari dinding katoda bagian dalam. Untuk SWPC dengan penampang lintang bujur sangkar dengan kawat anoda berada di pusat, persamaan (4) tersebut hanya berlaku untuk daerah yang masih dekat dengan kawat anoda. Perhitungan kuat medan listrik secara langsung akan menjadi lebih rumit untuk SWPC yang digunakan dalam percobaan ini karena posisi kawat anodanya tidak simetris. Oleh karena itu untuk menentukan kuat medan listrik di berbagai posisi di dalam volume aktif detektor telah digunakan perhitungan secara numerik dengan program komputer terhadap persamaan Laplace dua dimensi untuk potensial listrik dengan metode relaksasi(16).

Sebagaimana telah disebutkan pada BAHAN, ALAT DAN TATAKERJA, untuk pengukuran waktu drift digunakan peralatan seperti pada Gambar 4. Untuk mengurangi efek hamburan ganda sinar β , hanya pulsa-pulsa di sekitar puncak pada spektrum tinggi pulsa saja

yang dipakai dalam pengukuran ini. Pemilihan pulsa-pulsa tersebut dilakukan dengan menggunakan diskriminator yang ada pada TSCA. Dalam pengukuran ini tegangan kerja SWPC dipasang pada daerah transisi 50%, artinya pada tegangan tersebut sekitar 50% radiasi yang masuk ke ruang aktif SWPC menghasilkan pulsa proporsional sedang 50% lainnya telah menghasilkan pulsa SQS. Mula-mula, pengukuran waktu drift dilakukan dengan menempatkan sumber radiasi pada posisi vertikal tepat sama dengan posisi kawat anoda, X = 0. Kemudian, posisi tersebut diubah-ubah dengan selisih 0,5 mm sehingga diperoleh data waktu drift untuk berbagai harga kuat medan listrik. Untuk studi perbandingan, pengukuran, waktu drift dilakukan baik dengan menggunakan pulsa-pulsa proporsional maupun pulsa SQS.

Gambar 7 adalah contoh suatu spektrum waktu drift yang diukur dengan menggunakan seluruh pulsa keluaran SWPC baik dari mode proporsional dan mode SQS. Terlihat pada Gambar 7 bahwa terdapat dua puncak dalam spektrum waktu drift.

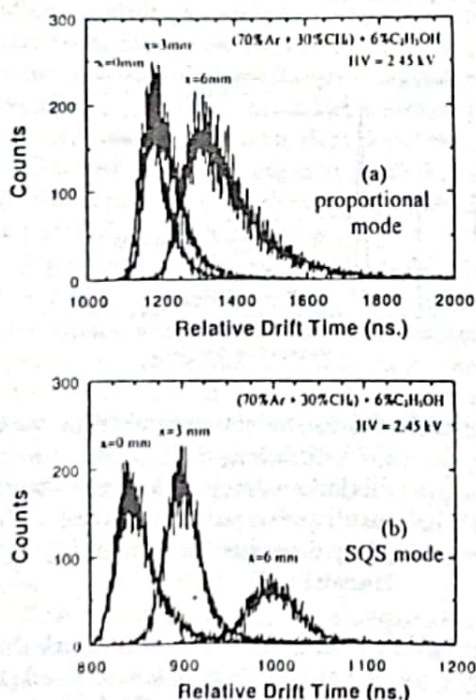


Gambar 7. Suatu distribusi spektrum waktu drift di dalam SWPC. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan seluruh pulsa-pulsa keluaran SWPC yang dioperasikan pada tegangan transisi 50%.

Penyelidikan lebih lanjut menunjukkan bahwa puncak yang berada di sebelah kiri adalah waktu drift untuk pulsa-pulsa SQS dan puncak di sebelah kanan adalah waktu drift untuk pulsa-pulsa proporsional. Terlihat bahwa waktu drift elektron untuk pulsa-pulsa proporsional seolah-olah terlambat beberapa ratus nano-detik daripada pulsa-pulsa SQS. Keterlambatan ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan bentuk pulsa keluaran dari penguat spektroskopi untuk kedua mode, karena waktu

bangkit mode SQS sangat cepat, sedangkan mode proporsional relatif lambat. Terpisahnya waktu *drift* untuk kedua mode tersebut sebenarnya memungkinkan pengukuran waktu *drift* dilakukan secara simultan. Sayang bahwa bila ini dilakukan, resolusi waktu yang dinyatakan dengan FWHM(Full Width at Half Maximum) pada spektrum waktu *drift* untuk mode proporsional terlalu besar. Hal ini karena pulsa keluaran penguat spektroskopi untuk mode proporsional menjadi terlalu kecil. Akhirnya diputuskan bahwa pengukuran waktu *drift* harus dilakukan secara terpisah untuk kedua mode.

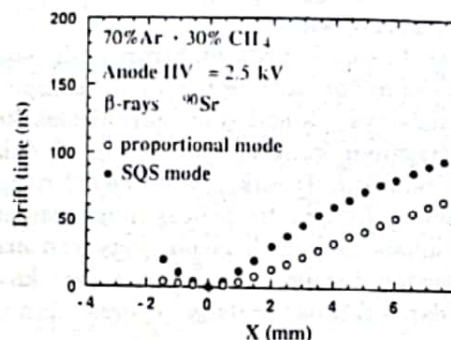
Gambar 8 (a) dan (b) adalah contoh puncak-puncak spektra waktu *drift* untuk mode proporsional dan mode SQS untuk posisi sumber radiasi berjarak 0, 3 dan 6 mm dari kawat anoda. Meskipun FWHM relatif lebar (± 30



Gambar 8. Puncak-puncak spektra waktu *drift* elektron di dalam SWPC pada posisi $X = 0, 3$ dan 6 mm untuk (a) mode proporsional dan (b) mode SQS.

nano-detik) namun tidak ada kesulitan untuk menentukan puncak-puncak dari setiap spektra.

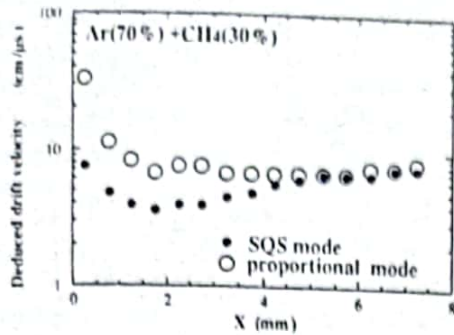
FWHM yang terlalu lebar kemungkinan merupakan kontribusi dari beberapa unsur antara lain ukuran lubang kolimator sumber, hamburan ganda sinar- β , medan listrik yang tidak homogen dan sistem rangkaian elektronik yang dipakai. Untuk menentukan harga waktu *drift* yang sebenarnya, maka puncak dari spektra waktu *drift* pada $X = 0$ ditetapkan sebagai waktu *drift* = 0 nano-detik. Dari sini akan diperoleh waktu *drift* untuk posisi-posisi sumber radiasi untuk berbagai jarak X dari kawat anoda. Gambar 9 menunjukkan hasil pengukuran waktu *drift* sebagai fungsi dari posisi sumber radiasi, X , di dalam campuran gas ($70\% \text{ Ar} + 10\% \text{ CH}_4$).



Gambar 9. Waktu *drift* elektron di dalam campuran gas ($70\% \text{ Ar} + 30\% \text{ CH}_4$) sebagai fungsi X , waktu *drift* elektron diukur baik dengan pulsa-pulsa mode proporsional maupun SQS.

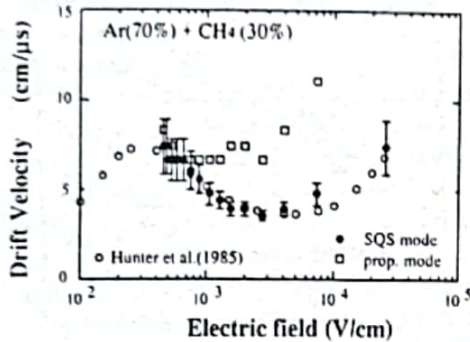
Kecepatan *drift* yang diturunkan dari data waktu *drift* pada Gambar 9 disajikan pada Gambar 10.

Dari Gambar 9 dan Gambar 10 terlihat jelas adanya perbedaan hasil pengukuran waktu dan kecepatan *drift*-elektron antara mode proporsional dan SQS. Tanda-tanda adanya perbedaan hasil ini sebenarnya juga sudah terlihat pada Gambar 8, yaitu pada mode proporsional puncak-puncak spektra waktu *drift* sangat berdekatan sehingga agak sulit dipisahkan untuk daerah yang relatif dekat dengan kawat anoda. Untuk mengevaluasi hasil pengukuran, maka kecepatan *drift* untuk kedua mode harus dibandingkan dengan data kecepatan *drift* yang telah ada yang diambil dari hasil pengukuran kelompok lain untuk campuran dan komposisi gas yang sama. Perban-



Gambar 10. Kecepatan *drift* elektron di dalam campuran gas (70% Ar + 30% CH₄) sebagai fungsi dari X.

dengan hasil pengukuran kecepatan *drift* elektron tersebut dapat dilihat pada Gambar 11 sebagai fungsi dari kuat medan listrik.

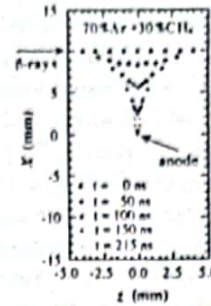


Gambar 11. Kecepatan *drift* elektron di dalam campuran gas (70% Ar + 30% CH₄) sebagai fungsi medan listrik dan data kecepatan *drift* elektron milik Hunter dkk. [2]

Sebagaimana telah disebutkan di atas, kuat medan listrik untuk posisi-posisi X telah ditentukan dengan metode numerik. Terlihat bahwa untuk mode proporsional kecepatan *drift* dari hasil pengukuran menyimpang sedang untuk mode SQS terlihat adanya konsistensi dengan data kecepatan *drift* yang diukur oleh Hunter dkk. [2]. Penyimpangan hasil untuk mode proporsional tersebut semakin besar bila posisi sumber semakin dekat dengan kawat anoda. Penyimpangan hasil ini kemungkinan disebabkan oleh efek ketebalan detektor.

Untuk menjelaskan penyimpangan hasil tersebut secara rinci, pada Gambar 12 disajikan suatu model untuk menggambarkan distribusi elektron hasil pengionan beberapa saat setelah

bergerak menuju kawat anoda pada suatu SWPC dengan ukuran penampang lintang 10 x 30 mm².



Gambar 12. Distribusi elektron hasil pengionan gas yang sedang bergerak menuju kawat anoda suatu SWPC dengan penampang lintang 30x10 mm² untuk posisi sumber berjarak 10 mm dari kawat anoda. Posisi kawat anoda adalah pada koordinat Z,X= (0,0), t adalah waktu setelah pengionan terjadi.

Dengan sumber radiasi sinar β, maka proses pengionan akan terjadi di sepanjang lintasannya, yaitu 10 mm (tebal detektor). Waktu t pada Gambar 12 dihitung untuk posisi sumber radiasi berjarak 10 mm dari kawat anoda dan dari data kecepatan *drift* milik Hunter dkk. [2], dan dikombinasikan dengan data kuat medan listrik di dalam SWPC yang dihitung dengan metode numerik dengan suatu program komputer [17]. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa elektron-elektron hasil pengionan yang berada di tengah-tengah pada lintasan sinar-β (Z = 0 mm) akan mencapai kawat anoda pada t = 215 nano-detik. Sementara itu elektron hasil pengionan pada Z = 1, 2, 3 dan 4 mencapai kawat anoda berturut-turut setelah t = 219, 228, 241 dan 262 nano-detik. Dalam hal mode proporsional, pulsa keluaran dari kawat anoda terbentuk dari pelipatgandaan elektron yang muncul dari sejak t = 215 nano-detik yang kemudian disusul pula dengan kontribusi dari elektron-elektron yang muncul pada t = 219, 228 dst sampai elektron terakhir diujung lintasan sinar β. Akibatnya waktu bangkit pulsa relatif lambat dan pulsa keluarannya tidak dapat menggambarkan posisi vertikal sumber radiasi karena waktu *drift* yang tercatat adalah waktu *drift* rata-rata dari seluruh elektron hasil pengionan dari sepanjang lintasan

sinar- β . Dengan demikian pulsa keluaran mode proporsional tidak dapat menggambarkan hubungan antara waktu *drift* dan posisi sumber radiasi X.

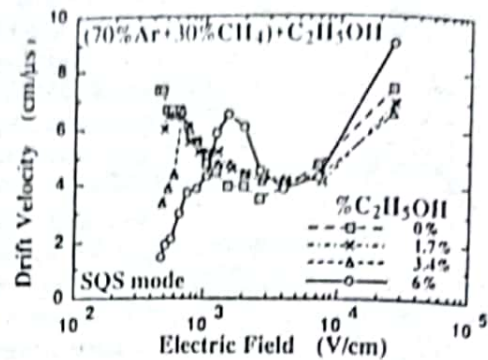
Sementara itu waktu *drift* yang diberikan oleh pulsa-pulsa keluaran dari mode SQS adalah benar. Hal ini terlihat dari konsistensi antara kecepatan *drift* elektron hasil pengukuran dan data dari Hunter dkk. Hal ini hanya dapat dijelaskan sebagai berikut. Begitu beberapa elektron hasil pengionan yang terdekati dengan kawat anoda (elektron disekitar $Z = 0$) mencapai anoda yaitu pada $t = 215$ nano-detik, proses penggandaan muatan berlangsung dengan cepat hingga terbentuk pita *streamer* (hanya dalam beberapa nano-detik) dan langsung terbentuk pulsa SQS. Dengan demikian elektron yang datang belakangan sudah tidak mempunyai kontribusi yang berarti baik dalam proses penggandaan muatan maupun pembentukan karena pita muatan sudah terlanjur terbentuk. Oleh karena itu, pulsa keluaran mode SQS dapat menggambarkan hubungan antara waktu *drift* dan posisi sumber, X, dengan baik sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengukuran waktu *drift* elektron.

Selain dari pembahasan tersebut di atas, dari analisis secara teoritis terhadap bentuk pulsa mode SQS juga dapat disimpulkan bahwa bentuk pulsa SQS ditentukan oleh gerakan elektron dan bukan gerakan ion positif sebagaimana pada mode proporsional maupun mode GM. Karena keterbatasan tempat analisis tersebut tidak dapat disajikan dalam makalah ini namun dapat dijumpai pada acuan nomor (18).

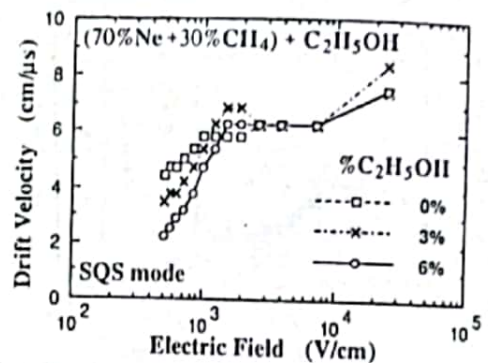
Hasil pengukuran kecepatan drift elektron.

Setelah terbukti bahwa kecepatan *drift* elektron dapat diukur dengan memanfaatkan karakteristik pulsa-pulsa keluaran mode SQS, maka telah dilakukan pengukuran kecepatan *drift* untuk campuran gas (70% Ar + 30% CH₄) dengan tambahan uap etanol 0%, 1,7%, 3,4% dan 6% dan campuran gas (70% Ne + 30% CH₄) dengan tambahan uap etanol 0%, 3% dan 6%. Untuk pengukuran kecepatan *drift* elektron ini masih tetap menggunakan susunan detektor dan rangkaian elektronik seperti yang digunakan untuk pengukuran karakteristik *drift* elektron. Hasil-hasil pengukuran disajikan pada Gambar 13 dan Gambar 14. Untuk menyederhanakan Gambar, galat (error bar) tidak dicantumkan.

Kesalahan sistematik diperkirakan sebesar 15% yang sebagian besar bersumber dari



Gambar 13. Kecepatan *drift* elektron yang diukur dengan menggunakan pulsa-pulsa keluaran mode SQS untuk campuran gas (70% Ar + 30% CH₄) dengan tambahan uap etanol 0%, 1,7%, 3,4% dan 6%.



Gambar 14. Kecepatan *drift* elektron yang diukur dengan menggunakan pulsa-pulsa keluaran mode SQS untuk campuran gas (70% Ne + 30% CH₄) dengan tambahan uap etanol 0%, 3% dan 6%.

ukuran garis tengah kolimator sumber radiasi yang besarnya 0,5 mm dan efek dari hamburan ganda sinar β . Dari Gambar 13 dan Gambar 14 terlihat bahwa terdapat perbedaan bentuk kurva hubungan kuat medan listrik dan kecepatan *drift* untuk campuran gas yang mengandung Ar dan Ne. Campuran gas yang mengandung Ne mempunyai variasi kecepatan *drift* elektron yang lebih kecil daripada campuran gas yang mengandung Ar. Data ini kemungkinan sangat berguna dalam memilih jenis gas untuk pembuatan pencacah *drift*. Pencacah *drift* adalah suatu detektor gas peka posisi yang memanfaatkan hubungan antara posisi datangnya radiasi dan waktu *drift* elektron untuk mengukur posisi datangnya radiasi. Untuk pencacah *drift*

dengan ukuran besar, kecepatan *drift* elektron yang variasinya besar akan cukup mengacaukan dalam perhitungan hubungan antara posisi datangnya radiasi dan waktu *drift* elektron. Untuk mengatasi hal tersebut campuran gas yang mengandung Ne dapat disarankan untuk digunakan sebagai gas pengisi pencacah *drift*. Dari hasil pengukuran kecepatan *drift* elektron ini juga diperoleh informasi bahwa meskipun dalam prosentase yang sangat kecil, tambahan uap etanol kedalam campuran gas pengisi detektor sangat berperan dalam menurunkan kecepatan *drift* elektron, terutama didaerah yang bermedan listrik lemah yaitu di daerah dengan medan listrik lebih kecil dari 1 kV/cm.

KESIMPULAN.

Dengan peralatan sederhana seperti Gambar 3 telah dilakukan pengukuran karakteristik *drift* elektron di dalam detektor gas yang dioperasikan di daerah transisi antara mode proporsional dan mode SQS. Dari hasil pengukuran tersebut telah diketahui bahwa pulsa keluaran detektor gas yang dioperasikan pada mode SQS dapat dimanfaatkan untuk pengukuran kecepatan elektron *drift* di dalam gas pengisi detektor. Namun hal tersebut tidak berlaku untuk pulsa keluaran mode proporsional. Hal ini karena proses pelipatgandaan muatan pada mode SQS dapat menghasilkan elektron dalam jumlah yang cukup banyak di sepanjang pita muatan yang tegak lurus anoda sehingga elektron memegang peranan penting dalam pembentukan pulsa. Selain itu, hanya beberapa elektron hasil pengionan yang paling awal mencapai anoda saja yang berperan dalam proses pelipatgandaan muatan. Sementara itu, pada mode proporsional, jumlah elektron yang terbentuk masih relatif sedikit dan terbentuk di lokasi yang sangat dekat dengan kawat anoda sehingga bentuk pulsa masih didominasi oleh ion positif yang gerakannya lamban.

Hasil pengukuran karakteristik *drift* elektron memperkuat kesimpulan tentang peranan elektron yang sangat besar dalam pembentukan pulsa dalam detektor gas yang dioperasikan pa-

da mode SQS. Karena peranan elektron yang sangat besar tersebut maka waktu bangkit detektor gas dalam mode SQS sangat cepat, hampir menyamai detektor sintilasi atau semikonduktor yang dalam orde beberapa nano-detik. Hal ini jauh berbeda dengan detektor gas yang dioperasikan pada mode proporsional (dengan waktu bangkit beberapa mikro-detik) ataupun mode Geiger (dengan waktu bangkit beberapa mili-detik).

Kecepatan *drift* elektron telah diukur untuk campuran-campuran gas (70% Ar + 30% CH₄) dan (70% Ne + 30% CH₄) masing-masing dengan penambahan uap etanol (C₂H₅OH) beberapa persen. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa campuran gas yang mengandung Ne mempunyai ketergantungan dengan kuat medan listrik lebih kecil daripada campuran gas yang mengandung Ar di daerah kuat medan listrik yang lazim digunakan untuk pengoperasian pencacah *drift*. Jadi campuran gas yang mengandung Ne lebih baik daripada Ar sebagai pengisi pencacah *drift* yang lazimnya digunakan sebagai detektor peka posisi. Dengan menggunakan Ne hubungan antara posisi dan waktu *drift* menjadi lebih sederhana.

Selain itu terlihat pula bahwa meskipun dalam prosentase yang relatif kecil, penambahan uap etanol ke dalam campuran gas dapat menurunkan kecepatan *drift* elektron dengan cukup drastis untuk daerah kuat medan listrik kecil, kurang dari 1 kV/cm. Tetapi, semakin tinggi kuat medan listrik, pengaruh tersebut menjadi semakin tidak kentara.

UCAPAN TERIMA KASIH.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada Prof. DR. Masaru Matoba, Profesor pada "Departemen of Nuclear Engineering, Kyushu University, Fukuoka, Japan", yang telah memberi kesempatan dan membimbing secara langsung dalam melakukan penelitian ini. Penelitian ini dilakukan dalam rangka penulisan Thesis S-3 program tugas belajar OFP/OPF/STMDP/STAIID-BPPT.

DAFTAR PUSTAKA.

1. Von Engel, A., Ionized gas, Oxford Univ. Press (1965)122.
2. Hunter, S. R., Carter, J. G. and Christophorou, L. G., J- Appl. Phys. 58 (1995) 3001.
3. Biagi, S. F., Booth, P. L. S., Nucl. Instr. and Meth. A273 (1988) 530.
4. Widodo, S., Nohtomi, A., Uozumi, Y., Sakae, T., Ijiri, H., Koori, N. and Matoba, M., J. Nucl. Sei. Technol. 29 (8) (1992) 745.

5. Alekseev, G. D., Kalinina, N. A., Karpukhin, V. V., Khazins, D. M. and Kruglow, V. V., Nucl. Instr. and Meth. 177 (1980) 385.
6. Atac, M., IEEE Trans. Nucl. Sci NS-28 No.1 (1981) 492, Atac, M., Tollestrup, A. V. and Potter, D., Nucl. Instr. and Meth. 200 (1982) 345.
7. Zhang, L. S., Nucl. Instr. and Meth. A247 (1986) 343.
8. Taylor, F. E., Nucl. Instr. and Meth. A289 (1990) 283.
9. Tang Xiaowei, Nucl. Instr. and Meth. A307 (1991) 580.
10. Koori, N., Nohtomi, A., Uozumi, Y., Sakae, T., Matoba, T., Nucl. Instr. and Meth. A307 (1991) 581.
11. F.Sauli, F., Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers, CERN 77-09 (1977).
12. Brown, S. C., Basic data of plasma physics, MIT Press, Cambridge, Mass. (1959).
13. Palladino, V. and Sadoulet, B., Nucl. Instr. and Meth. 128 (1975) 768.
14. Schultz, G. and Gresser, J., Nucl. Instr. and Meth. 151 (1978) 413.
15. Lucas, J., Int.J. Electronic 17 (1964) 43.
16. Ikematsu, S., Yamaguchi, R., Kisanuki, A., Widodo, S., Uozumi, Y., Sakae, T., Matoba, M., Eng. Sci. Reports. Kyushu University. 13 (1991) 37.
17. Nohtomi, A., Kyushu University, Komunikasi pribadi (1992).
18. Susilo Widodo, Study on the electron drift characteristics in position sensitive gas counters, Kyushu University, doctoral thesis (1993) 117.

DISKUSI

Arlinah K. :

Apakah anda punya pengalaman dengan gangguan dari jala-jala listrik sehingga pengukuran terganggu dari segi kestabilannya. Bagaimana cara mengatasinya ?

Susilo Widodo:

Benar, kami memang sering menjumpai ketidakstabilan alat cacah/detektor yang kemudian mengkambing-hitamkan listrik PLN sebagai penyebabnya, meskipun listrik PLN yang dipakai sudah dilewatkan melalui alat stabilizer. Jadi kita belum yakin juga kalau listrik PLN sebagai penyebab utama. Barangkali kelembaban ruangan juga berpengaruh. Untuk mengatasi, harus dilihat kasus demi kasus jenis detektor/peralatan elektronik yang digunakan. Misal, untuk detektor gas dapat ditempuh dengan mengoperasikan tegangan kerjanya pada daerah plato.