

## ANALISIS MEDAN LISTRIK YANG DIPRODUKSI OLEH PRELIMINARY BREAKDOWN PADA PETIR NEGATIF AWAN KE BUMI

Fadli Eka Yandra

### Abstrak

Tujuan utama dari tesis ini untuk menunjukkan manfaat dari analisa *Power Spectrum Density* (PSD) untuk mengamati perubahan medan listrik pada *intermediate* petir negatif *cloud to ground* (-CG) dengan terminologi *breakdown-intermediate-leader* (BIL) sebelum sambaran balik pertama. Analisa dilakukan pada 74 data kejadian petir di Kota Padang, dengan terminologi BIL. Analisa domain waktu – frekuensi menggunakan aplikasi *Short Time Fourier Transform* (STFT), kemudian hasil analisa domain waktu – frekuensi dibandingkan dengan analisa domain waktu. Dasar dari penggunaan STFT adalah perhitungan Spektogram. Dari hasil analisa domain waktu – frekuensi didapatkan perbedaan terhadap analisa domain waktu, dimana untuk data dengan *sampling rate* 1 MS/s (resolusi rendah) pada domain waktu, tidak terjadi banyak perubahan dibanding data dengan *sampling rate* 25 MS/s (resolusi tinggi), karena spektrum dengan resolusi tinggi lebih jelas spektrum amplitudo frekuensinya. Perbedaan hasil perhitungan fase BIL dengan domain waktu akan terlihat pada data petir dengan batas waktu terjadinya fase *Intermediate* yang pendek atau pada nilai tegangan  $E$  yang lebih kecil, Karena bentuk rekaman gelombang yang lebih rendah magnitud amplitudonya, sehingga bisa terlihat dengan jelas perbedaan fase BIL yang terjadi.

Kata Kunci : *Preliminary Breakdown, Intermediate Duration, fase BIL berdasarkan Power Spectrum Density.*

### Abstract

*The main objective of this thesis is to demonstrate the benefits of the analysis of Power Spectrum Density (PSD) to observe the change of the electric field at intermediate negative lightning cloud to ground (CG) and terminology-intermediate breakdown-leader (BIL) before turning the struck first. Analysis was done on data 74 occurrence of lightning in the city of Padang, with terminology BIL. Time domain analysis time – frequency of use applications Short Time Fourier Transform (STFT), then the results of the analysis time domain – frequency domain analysis compared with the time. The basis of the use of the STFT is the calculation of Spektogram. Time domain analysis of results time – frequency domain analysis against the difference obtained by time, where for data with sampling rate 1 MS/s (low resolution) in the domain of time, does not happen much changes compared data with sampling rate 25 MS/s (high resolution), high resolution spectrum due to clearer spectrum amplitude frequency. Different the results of the calculation phase BIL with time domain data will look on the lightning with a time limit of occurrence of short or Intermediate phase on the value of the voltage  $E$  smaller, because it forms the lower wave recording-amplitudo, so can be seen clearly the difference phases of BIL is happening.*

*Keyword: Preliminary Breakdown, Intermediate Duration, phase based on Power Spectrum Density BIL.*

## PENDAHULUAN

Secara geografis Kota Padang dilewati oleh garis khatulistiwa. Daerah yang berada di sekitar garis khatulistiwa memiliki iklim tropis atau tidak memiliki musim seperti daerah lain yang terletak jauh dari garis khatulistiwa. Seperti yang diketahui bahwa daerah beriklim tropis memiliki curah hujan yang cukup tinggi. Kondisi ini mengakibatkan potensi kejadian petir di Kota Padang menjadi cukup tinggi dibanding daerah lain yang berada jauh dari garis khatulistiwa.

Petir merupakan salah satu fenomena alam yang sering terjadi di kehidupan sehari-hari dan sulit untuk diprediksi. Fenomena ini terjadi akibat loncatan muatan dalam jumlah yang sangat besar yang disebabkan adanya perbedaan muatan antara awan dan bumi.

Sebelum terjadinya sambaran petir atau *return stroke* secara bertahap proses terjadinya petir dimulai dari tahap *preliminary breakdown*, *step leader* hingga akhirnya terjadi sambaran balik pertama atau *first return stroke*. Namun masih sedikit informasi dan data statistik signifikan yang ada untuk setiap tahapannya, hal ini membuat petir menjadi hal yang menarik untuk diteliti.

Penelitian yang terkait dengan analisa karakteristik spektrum medan listrik petir adalah jurnal yang berjudul "*Spectrum Characteristics of the Electric Field Related to the Preliminary Breakdown Stage of Cloud-to-Ground Lightning Flashes*" [1]. Jurnal ini membahas petir yang ditangkap oleh sensor yang berada di Warsawa dengan menggunakan jaringan pendeteksi petir lokal pada tahun 2009 dengan enam stasiun pengukur dan pada tahun 2013 hanya dua stasiun pengukur. Analisa yang dilakukan menggunakan *Power Spectrum density* (PSD) untuk melihat proses *Pleminary Breakdown* (PB). Seperti yang telah dipaparkan diatas, petir memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda-beda. Selain mengetahui kejadian petir disuatu daerah kita juga perlu mempertimbangkan keadaan geografis dari suatu daerah terhadap durasi-durasi waktu parameter yang ada, untuk menentukan karakteristik gelombang medan listrik petir.

Penelitian atau *paper* publikasi terkait analisa *Power Spectrum Density* (PSD) lainnya adalah "*Power Spectral Density Analysis of Intra-Cloud Lightning Discharge Components from Electric Field Recordings in Poland*" [2], PSD digunakan disini untuk mengidentifikasi komponen perbedaan dari petir *Intra Cloud* (IC) atau petir antar awan.

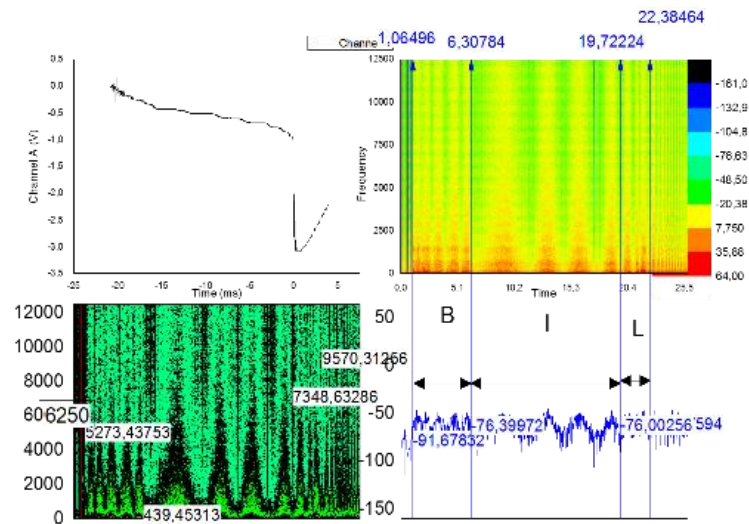
Penelitian lain yang terkait penggunaan domain frekuensi – waktu adalah "*Time-Frequency profile of discharge processes prior to the first return stroke*" [3], penelitian ini menggunakan profil frekuensi – waktu untuk menset proses petir pada *return stroke* pertama termasuk pulsa *narrow bipolar* dan *return stroke* (RS) pertama dengan menggunakan transformasi *wavelet* dari spektrum daya.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa terhadap **Medan Listrik yang diproduksi Oleh Preliminary Breakdown pada Petir Negatif Awan ke Bumi.**

### TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui karakteristik *preliminary breakdown* petir *downward leader* yang mengawali sambaran negatif pertama di kota Padang Sumatera Barat [4]. Analisa medan listrik (E) pada *Preliminary Breakdown* menggunakan *Power Spectrum Density* (PSD) untuk melihat bentuk perubahan sinyal dalam domain waktu-frekuensi, dengan menggunakan aplikasi dari *Short Time Fourier Transform* (STFT) [2]. Dalam hal ini penggunaan analisa gelombang dengan domain waktu-frekuensi dikembangkan sesuai dengan kemajuan penggunaan aplikasi pengolahan sinyal pada *software OriginPro 9* untuk memudahkan dalam melakukan analisa rekaman gelombang dalam domain waktu.

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu menentukan batasan fase BIL dengan menggunakan pengolahan gelombang (*Signal Processing*) STFT. Tahapan analisisnya dilakukan seperti gambar 1 berikut.

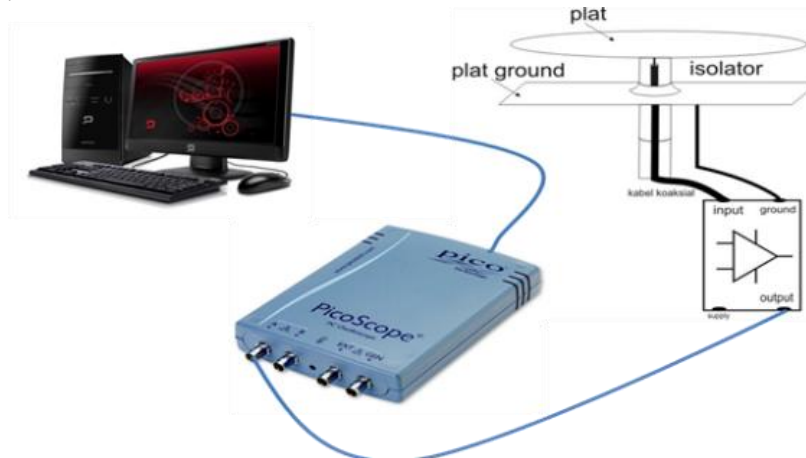


Gambar 1. Pengolahan sinyal STFT.

## METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Kota Padang Sumatera Barat yang berada di daerah khatulistiwa (lintang: 0054' S, Bujur: 1000 E), pada ketinggian 303 m di atas permukaan laut dan berjarak 33 km dari Bandara Internasional Minang Kabau (BIN). Perekaman terhadap sinyal medan listrik ini dilakukan dari bulan Maret sampai bulan April 2016.

Sinyal medan listrik yang dianalisis bersumber dari kejadian petir dengan jaraknya kurang dari 50 km dari stasiun penerima, ini ditandai dengan bentuk gelombang sabaran pertama yang tidak beresilasi terhadap titik nol. Blog diagram sistem antenna medan listrik yang digunakan pada penelitian ini diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Blog diagram sistem perekaman medan listrik petir.

Sinyal medan listrik yang diproses adalah sebanyak 74 data sambaran dengan terminologi BIL saja, sedangkan data yang memiliki terminologi BL, hanya

dianalisa tampilan spektrumnya saja, untuk menjelaskan porsi dari fase BL tersebut dengan menggunakan analisa spektrum.

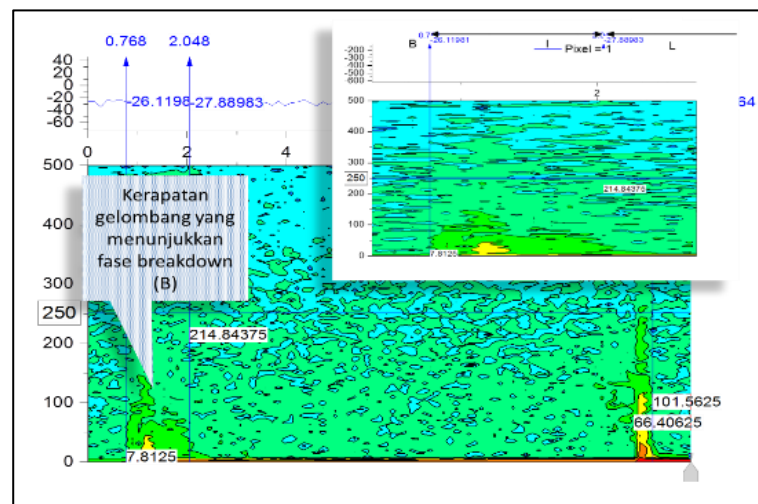
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis terhadap 74 data petir terminologi BIL, seperti yang telah diuraikan diatas menghasilkan kesimpulan bahwa pengolahan sinyal, bisa menghitung batasan fase BIL lebih mudah dan jelas.

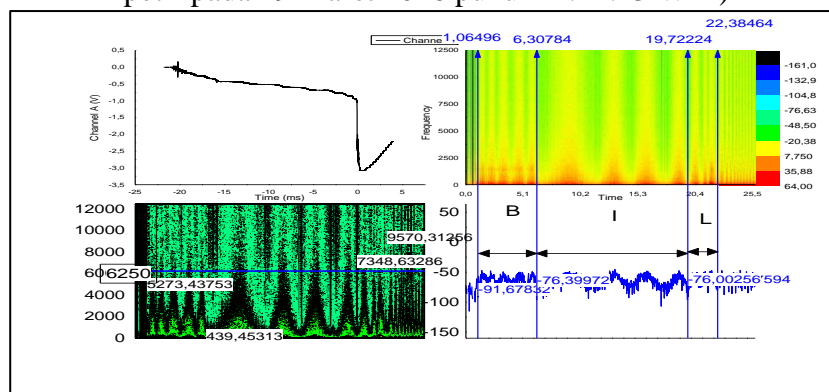
#### *Karakteristik Petir –CG dengan Melihat Bentuk Pengolahan Sinyal STFT*

Dari penelitian yang didapatkan, bentuk spektrum gelombang medan listrik petir tidak sama antara satu dengan yang lainnya. Dari bentuk spektrum gelombang medan listrik petir ini juga dapat digambarkan besar amplitudo, frekuensi, serta lamanya kejadian (durasi gelombang) yang menggambarkan proses terjadinya petir itu sendiri.

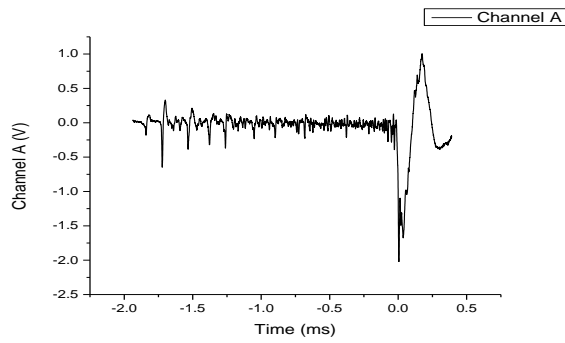
Dalam penelitian ini, data yang dianalisa hanya data petir negatif yang memiliki pola BIL. Pada pola BIL tersebut yang dilihat adalah durasi terjadinya *Breakdown* (B), *Intermediate* (I) dan *Leader* (L) serta membandingkan perubahan karakteristik spektrum gelombang medan listrik pada *Intermediate* dengan sampling rate 1 MS/s dan 25 MS/s seperti terlihat pada gambar 4.1 dan 4.2 .



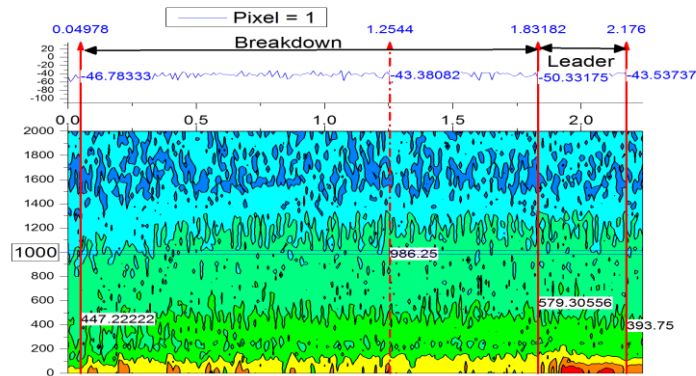
**Gambar 3.** Analisa medan listrik petir terminologi BIL pada 1 MS/s (Sambaran petir pada 19 Maret 2016 pukul 14:11:43 WIB)



**Gambar 4.** Analisa medan listrik petir terminologi BIL pada 25 MS/s (Sambaran petir pada 19 Maret 2016 pukul 14:11:42 WIB)



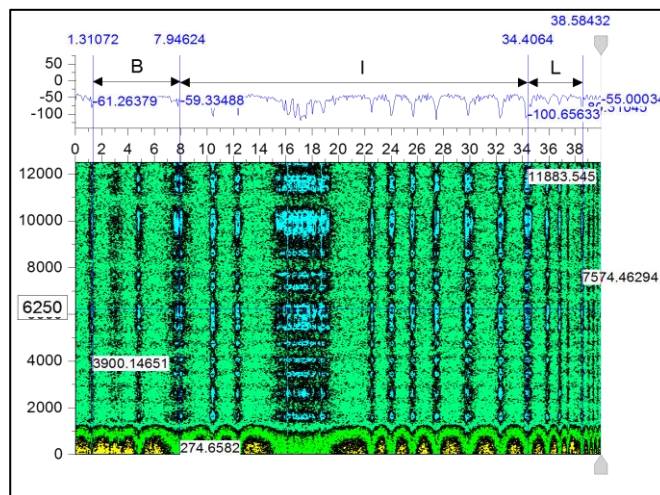
**Gambar 5**



**Gambar 6.** Analisa medan listrik petir terminologi BL tanggal 26 januari 2015 jam 9:56:00 WIB, dengan FFT Length 128, Window Length 80, Overlap 40, dan Window Type Hanning.

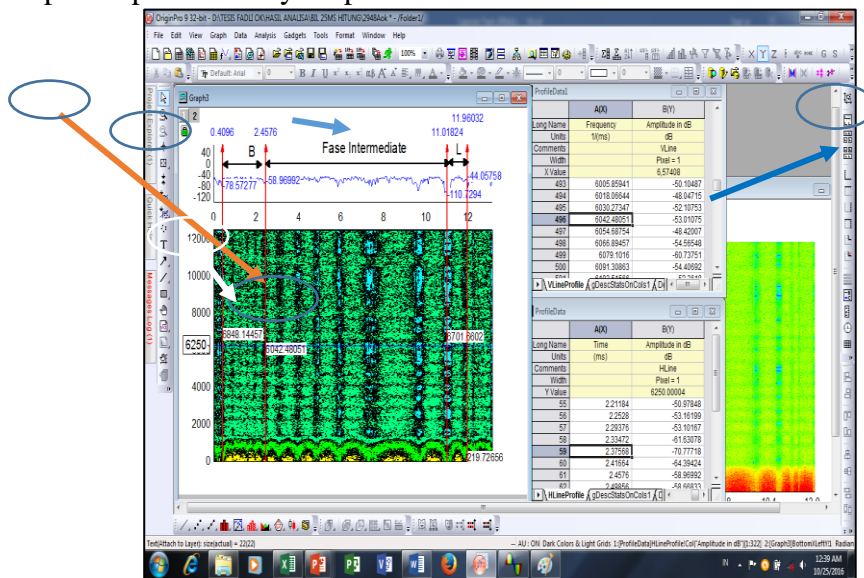
**Intermediate Duration**

*Intermediate* menunjukkan perubahan medan lambat atau tidak teratur yang disebabkan oleh pengisian muatan negatif dari saluran *breakdown* oleh cabang *discharge*. Pada penelitian kali ini diidentifikasi lamanya amplitudo frekuensi proses *intermediate* yang dihitung dari kerapatan amplitudo frekuensi gelombang terakhir *preliminary breakdown* hingga kerapatan amplitudo frekuensi awal terjadinya *leader*.



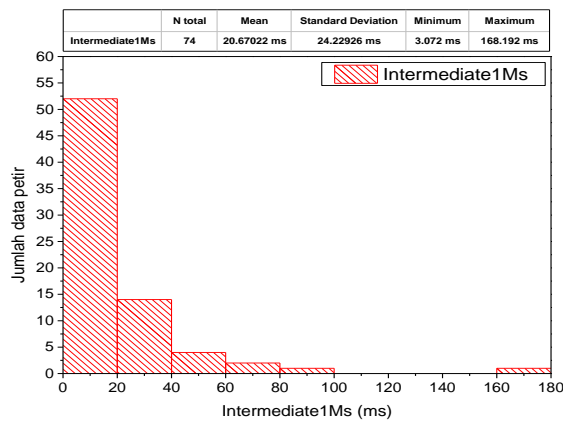
**Gambar 7.** Hasil analisa spektrogram STFT diplot dalam profil kontur, untuk memudahkan penghitungan batasan fase BIL.

Fase *Intermediate* dipilih berdasarkan bentuk kerapatan spektrum amplitudo frekuensinya, untuk menentukan variabel data domain waktu dan domain frekuensi ditampilkan profil datanya seperti berikut ini :



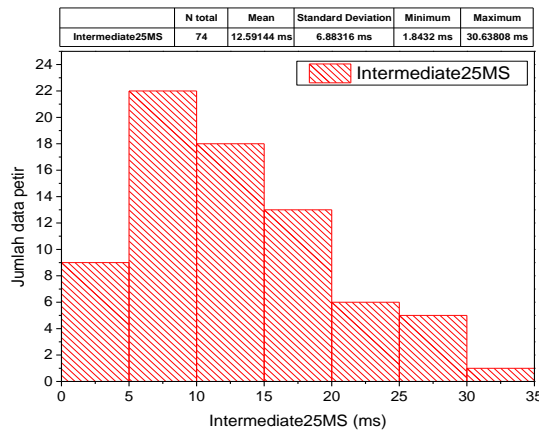
**Gambar 8.** Hasil plot spektrogram SFTF yang dirobah dalam bentuk kontur.

Durasi *Intermediate* akan dihitung berdasarkan nilai waktu yg ditampilkan berdasarkan amplitudo frekuensi yang dipilih, kemudian untuk tiap data yang sudah dipilih waktu amplitudo frekuensinya sesuai bentuk perobahan kontur gelombangnya, akan dihitung analisa statistiknya sebagaimana ditampilkan pada gambar 4.6.



**Gambar 9.** Intermediate Duration pada sampling rate 1 MS/s

Pada penelitian dengan sampling rate 1 MS/s, nilai *intermediate* paling besar terjadi pada petir yang terjadi pada tanggal 31 Maret 2016 pukul 16:41:56 dengan durasi 168,192 ms. Nilai *intermediate* paling kecil terjadi pada petir yang terjadi pada tanggal 01 April 2016 pukul 00:10:59 dengan durasi 3,07 ms.

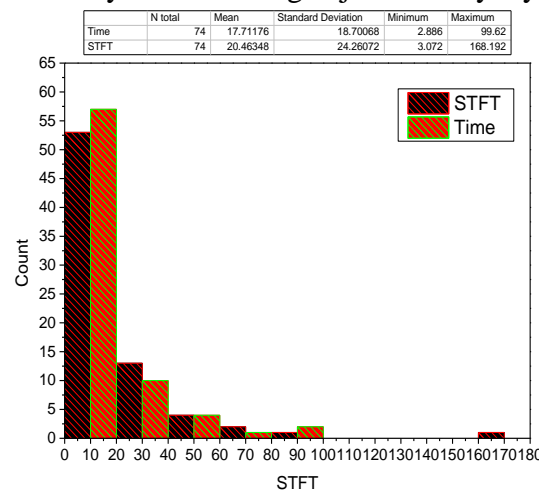


**Gambar 10.** Intermediate Duration pada sampling rate 25 MS/s

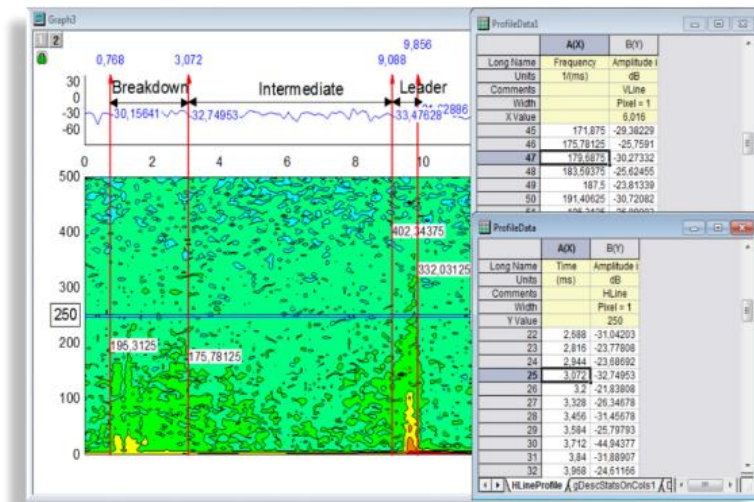
Pada penelitian dengan sampling rate 25 MS/s, nilai *intermediate* paling besar terjadi pada petir yang terjadi pada tanggal 29 Maret 2016 pukul 13:43:13 dengan durasi 30,64 ms. Nilai *intermediate* paling kecil terjadi pada petir yang terjadi pada tanggal 25 Maret 2016 pukul 06:41:49 dengan durasi 1,84 ms.

Setelah semua data petir negatif terminologi BIL dianalisa dengan pengolahan sinyal, maka dapat dilihat perbedaan waktu pada fase BIL yang dihitung dengan penghitungan langsung pada visual sinyal Picoscope, untuk melihat hasil perhitungannya, dapat dilihat pada tabel hasil analisa perhitungan STFT.

Perbedaan hasil perhitungan langsung sinyal secara visual dan hasil pengolahan sinyal STFT, karena kerapatan gelombang medan listrik petir dengan frekuensi tinggi yang agak sulit batasan fase BIL-nya, sedangkan hasil pengolahan sinyal STFT menampilkan bentuk spektrogram grafis gelombang yang berbasis domain waktu ke bentuk gelombang tiga dimensi (3D), yaitu gelombang berbasis domain frekuensi. Karena perubahan bentuk warna gelombang dengan domain frekuensi lebih melihsatkan bentuk perubahan amplitudo yang jelas, maka fase *Breakdown*, *Intermediate*, dan *Leader* dapat dipilah sesuai perubahan amplitudo frekuensinya. Seperti telah ditampilkan pada gambar analisa sebelumnya, maka rentang frekuensi sesuai perubahan amplitudo dapat dihitung berdasarkan rentang waktunya, dalam hal ini menyesuaikan dengan jumlah sinyal yang dianalisa.

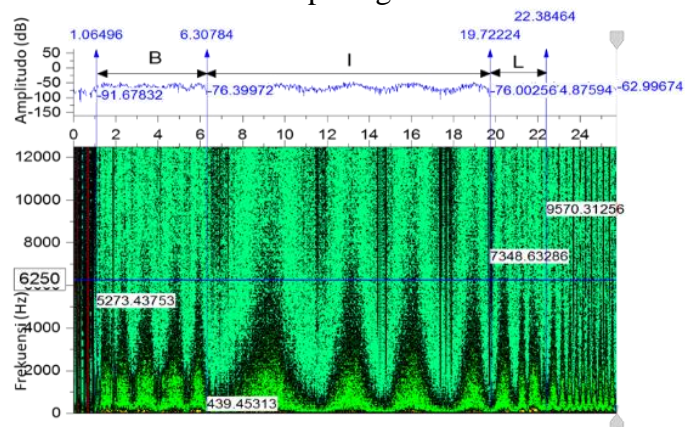


**Gambar 11.** Perbandingan durasi *Intermediate* antara perhitungan secara visual dengan pengolahan sinyal STFT pada 1 MS/s.



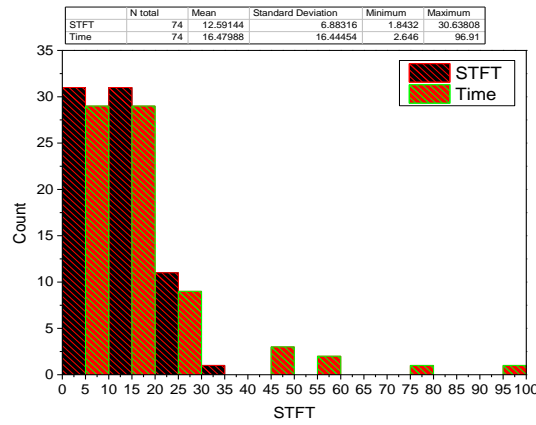
Gambar 12. Hasil pengolahan sinyal STFT pada 1 MS/s.

Pada data BIL dengan sampling rate 25 MS/s akan terlihat pola spektrum frekuensi *broadband* karena hasil pengolahan sinyal STFT akan memperlihatkan pola spektrum amplitudo frekuensi yang lebih rapat lagi, sehingga spektrum akan terlihat lebih jelas. Hal ini bisa dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 13. Hasil pengolahan sinyal STFT pada 25 MS/s.

Perhitungan durasi *Intermediate* pada 25 MS/s yang dihitung langsung akan sedikit sulit membedakan fasenya, tapi akan berbeda saat dihitung dengan menggunakan pengolahan sinyal STFT, karena sampling rate yang lebih tinggi, sehingga polanya menjadi lebih rapat dibandingkan dengan 1 MS/s, akibatnya terjadi banyak perbedaan hasil hitung dibandingkan dengan menggunakan pengolahan sinyal STFT, karena pada saat dihitung dengan pengolahan sinyal STFT, akan terlihat jelas pola kerapatan amplitudo frekuensinya. Hasil perbandingannya bisa dilihat pada gambar 4.11 dibawah ini.



**Gambar 14.** Perbandingan durasi Intermediate antara perhitungan domain waktu dengan STFT pada 25 MS/s.

Dari hasil Analisa data spektrogram petir terminologi BIL pada sampling rate 1 MS/s dan 25 MS/s dengan memperhatikan parameter waktu terjadinya masing-masing fase tersebut, maka dapat ditampilkan tabel hasil perhitungannya sebagai berikut ini :

Fase waktu terjadinya BIL 1 MS/s						
	N total	Mean	Standard Deviation	Minimum	Median	Maximum
Breakdown	74	2.73989	2.61942	0.192	1.984	13.312
Intermediate	74	20.67022	24.22926	3.072	13.036	168.192
Leader	74	1.68711	3.02542	0.008	1.012	22.016
Fase waktu terjadinya BIL 25 MS/s						
	N total	Mean	Standard Deviation	Minimum	Median	Maximum
Breakdown	74	3.60876	2.62705	0.49152	3.14368	12.77952
Intermediate	74	12.59144	6.88316	1.8432	11.24352	30.63808
Leader	74	3.24127	2.09574	0.49152	2.72472	9.58464

**Tabel 1.** Range waktu terjadinya fase BIL.

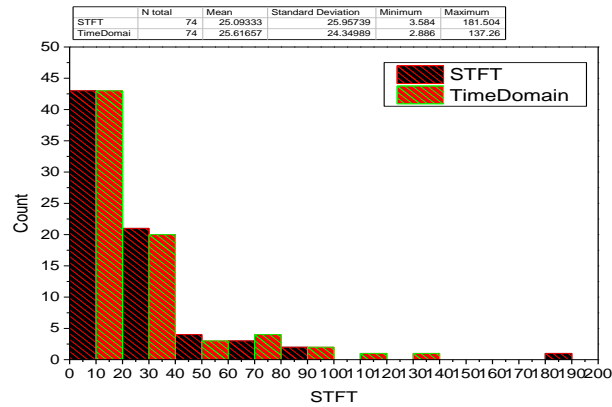
Untuk melihat lamanya durasi BIL pada 1 MS/s dan 25 MS/s yang terbaca oleh spektrogram hasil Analisa STFT, maka dapat kita lihat pada tabel 4.3 berikut ini :

Range waktu terjadinya fase BIL pada 1 MS/s (ms)					
	N total	Mean	Minimum	Median	Maximum
Breakdown	74	2.73989 ms	0.192 ms	1.984 ms	13.312 ms
Intermediate	74	20.67022 ms	3.072 ms	13.036 ms	168.192 ms
Leader	74	1.68711 ms	0.008 ms	1.012 ms	22.016 ms
Range waktu terjadinya fase BIL pada 25 MS/s (ms)					
	N total	Mean	Minimum	Median	Maximum
Breakdown	74	3.60876 ms	0.49152 ms	3.14368 ms	12.77952 ms
Intermediate	74	12.59144 ms	1.8432 ms	11.24352 ms	30.63808 ms
Leader	74	3.24127 ms	0.49152 ms	2.72472 ms	9.58464 ms

**Tabel 2.** Total waktu fase BIL dalam ms.

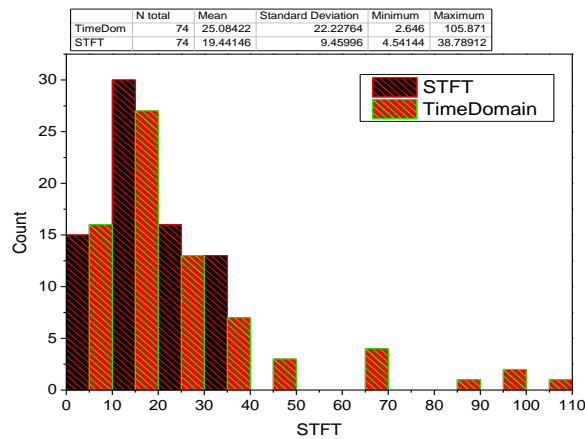
Perbedaan durasi waktu terjadinya BIL yang dihitung dengan pengolahan sinyal STFT dibandingkan dengan cara visual tidak jauh berbeda untuk sampling rate 1 MS/s, hanya terlihat perbedaan kecil saat bentuk gelombang visual yang

memiliki bentuk durasi yang lebih lama, disini menunjukkan petir yang terjadi memiliki rentang waktu lebih lama. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 15 berikut ini :



Gambar 15 Perbandingan durasi BIL pada 1 MS/s yang dihitung berdasarkan domain waktu dan domain waktu-frekuensi.

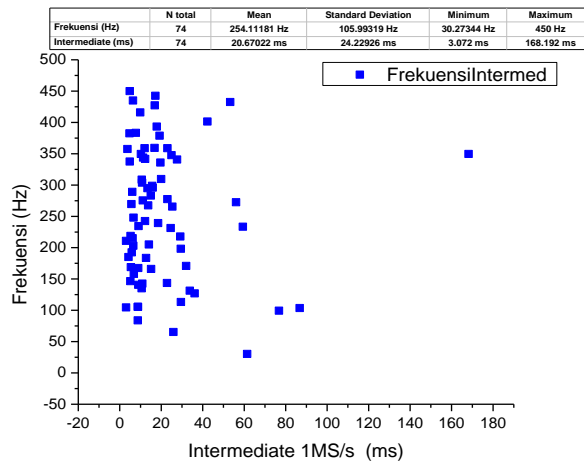
Untuk data petir dengan sampling rate 25 MS/s terjadi banyak perbedaan dalam menentukan durasi BIL dengan pengolahan sinyal dibanding secara visual, dikarenakan kerapatan gelombang yang dimiliki oleh frekuensi yang lebih tinggi (*broadband*). Untuk lebih jelasnya, bisa dilihat pada gambar 16 berikut ini.



Gambar 16 Perbandingan durasi BIL yang dihitung dengan domain waktu-frekuensi dan domain waktu pada 25 MS/s.

**Perubahan Frekuensi pada 1 MS/s dan 25 MS/s**

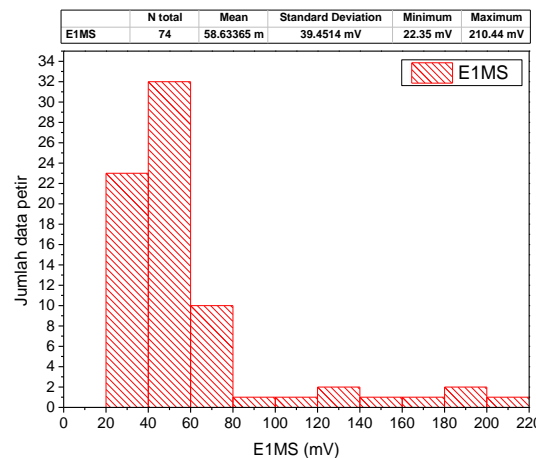
Dari 74 data petir negatif terminologi BIL yang ada pada bulan Maret – April 2016 dengan perbandingan sampling rate 1 MS/s dan 25 MS/s terlihat adanya indikasi perubahan frekuensi pada tiap fase berdasarkan perhitungan domain frekuensi terhadap amplitudonya jika dilihat pada grafik analisa STFT.



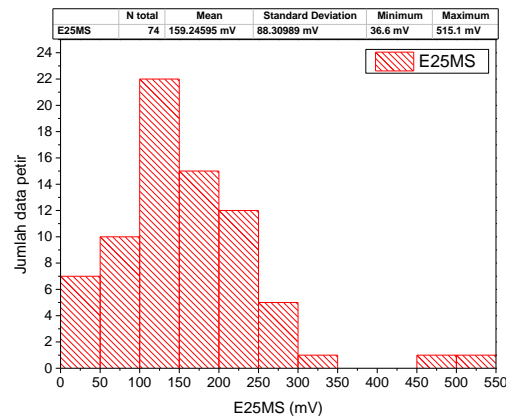
**Gambar 17.** Perubahan frekuensi terhadap waktu *Intermediate*.

Tegangan medan listrik (E) untuk tiap data diukur dimulai dari sinyal pada Picoscope, pengukurannya dilakukan seperti gambar berikut.

Setelah 74 data BIL yang dihitung, maka diperoleh hasil statistik sebagai berikut ini :



**Gambar 18.** Perubahan tegangan E (m) pada 1 MS/s



**Gambar 19.** Perubahan tegangan E (mV) pada 25 MS/s

Perubahan tegangan minimum sampling rate 1 MS/s terjadi pada sambaran petir tanggal 29 maret 2016 jam 14:04:36, dan perubahan tegangan maksimum terjadi

pada sambaran petir tanggal 6 April 2016 jam 17:28:24. Perubahan tegangan minimum sampling rate 25 MS/s terjadi pada sambaran petir tanggal 29 Maret 2016 jam 14:04:36, dan perubahan tegangan minimum terjadi pada sambaran petir tanggal 31 maret 2016 jam 17:39:37.

Secara keseluruhan dapat dilihat nilai parameter frekuensi yang dapat dihitung dari hasil Analisa spectrogram pada data petir negatif awan ke bumi terminology BIL dengan memperhatikan parameter rentang waktunya, frekuensi dan amplitudo yang ditampilkan oleh 74 data spektrogram yang sudah dianalisa sebagai berikut :

Frekuensi Sampling rate 1 MS/s (Hz)						
Fase	N total	Mean	Sum	Minimum	Median	Maximum
Breakdown	74	232.25384	17186.78395	56.64063	237.48047	466.79688
Intermediate	74	254.11181	18804.27418	30.27344	256.83594	450
Leader	74	262.26739	19407.78655	69.33594	258.125	467.77344
Frekuensi Sampling rate 25 MS/s (Hz)						
Fase	N total	Mean	Sum	Minimum	Median	Maximum
Breakdown	74	6002.10658	444155.8872	680.542	5715.94242	11877.44148
Intermediate	74	6126.0327	453326.4197	1037.59766	6140.13676	11190.79597
Leader	74	5658.45391	418725.5893	680.542	5432.12894	11895.75203

**Tabel 3.** Range frekuensi fase BIL.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pada tahapan *intermediate* terdapat perbedaan waktu dengan perhitungan menggunakan domain waktu pada sampling rate 1 MS/s didapat nilai maksimum pada 99,62 ms dan minimum pada 2,996 ms, sedangkan dengan menggunakan perhitungan domain waktu-frekuensi didapat nilai maksimum pada 168,192 ms dan minimum pada 3,072 ms. Untuk sampling rate 25 MS/s dengan perhitungan domain waktu didapat nilai maksimum pada 105,871 ms dan pada minimum 2,646 ms, sedangkan dengan menggunakan perhitungan domain waktu-frekuensi didapat nilai maksimum pada 38,78912 ms dan minimum pada 9,45996 ms.

Perbedaan hasil perhitungan fase BIL dengan domain waktu akan terlihat pada data petir dengan batas waktu terjadinya fase *Intermediate* yang pendek atau pada nilai tegangan E yang lebih kecil, Karena bentuk rekaman gelombang yang lebih rendah magnitud amplitudonya, sehingga bisa terlihat dengan jelas perbedaan fase BIL yang terjadi.

Sampling rate yang besar (25 Ms/s) membuat data petir yang direkam memiliki resolusi yang lebih tinggi, dengan tampilan spektrogram hasil analisa domain waktu-frekuensi memiliki magnitud amplitudo yang lebih rapat, sehingga lebih mudah diidentifikasi perbedaan fase BIL-nya.

### DAFTAR PUSTAKA

- G. Maslowski, "Spectral Characteristics of the Electric Field Related to the Preliminary Breakdown Stage of Cloud-to-Ground Lightning Flashes," *XV Int. Conf. Atmos. Electr. 15-20 June 2014, Norman, Oklahoma, U.S.A*, no. June, pp. 15–20, 2014.
- G. Karnas, G. Maslowski, and P. Baranski, "Power Spectrum Density Analysis of Intra-Cloud Lightning Discharge Components from Electric Field Recordings in Poland," no. Ic, 2014.

- M. R. Ahmad and V. Cooray, "Time-Frequency profile of discharge processes prior to the first return stroke," *2014 Int. Conf. Light. Prot. (ICLP), Shanghai, China Time-Frequency*, no. Cid, pp. 1134–1137, 2014.
- S. Zulka Hendri\* dan Ariadi Hazmi\*\* and P. T. Elektro, "KARAKTERISTIK PRELIMINARY BREAKDOWN PETIR DOWNWARD LEADER SEBELUM SAMBARAN NEGATIF PERTAMA," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. Vol:3 No., no. 1, pp. 25–31, 2014.