

## **IDENTIFIKASI QUASI-LINEAR CONVECTIVE SYSTEM MENGUNAKAN RADAR C-BAND DI WILAYAH MAKASSAR (Studi kasus Desember 2018 – Mei 2019)**

### **IDENTIFICATION OF QUASI-LINEAR CONVECTIVE SYSTEMS USING C-BAND RADAR IN MAKASSAR AREA (Case study December 2018 – May 2019)**

**Muhammad Arief Rahman Siregar<sup>1\*</sup>, Hasti Amrih Rejeki<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Stasiun Meteorologi F.L. Tobing, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

<sup>2</sup>Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

\*E-mail: ariefregar26@gmail.com

Naskah masuk: 3 Februari 2021 Naskah diperbaiki: 4 Desember 2022 Naskah diterima: 14 Maret 2023

#### **ABSTRAK**

*Quasi - Linear Convective System (QLCS)* merupakan suatu fenomena sistem cuaca konvektif yang berpotensi menyebabkan terjadinya hujan lebat, petir (CG), dan angin kencang yang sifatnya merusak. Penelitian ini mengambil kasus kejadian QLCS Desember 2018 – Mei 2019 di cakupan radar cuaca Makassar yang memiliki jaringan pengamatan radar cuaca berbasis C-Band dengan produk *Column Maximum CMAX*, *Central Tracking*, *Combined Moment*, dan *Vertical Shear*. Pengamatan dilakukan untuk mengetahui pola sebaran spasial, temporal, profil angin QLCS dan dampak QLCS terkait kejadian petir (CG). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola QLCS di wilayah cakupan radar cuaca Makassar teridentifikasi 32 kasus QLCS dengan durasi terbanyak pada 30-60 menit. Lokasi pembentukan QLCS dominan di *Coastal Ocean* dengan waktu inisiasi terbanyak saat malam hari pada rentang waktu 18.00-23.59 *Local Time*. Arah propagasi terbanyak ke arah timur-tenggara sebanyak 47% dengan kecepatan propagasi sel QLCS didominasi oleh *slow moving* sebesar 47%. Kecepatan angin *Vertical Wind Shear (VWS)* ditemukan 3 dari 4 jenis pembentukan QLCS yaitu *broken line*, *back building*, *broken areal*, *embedded areal*, bahwa kecepatan VWS maksimum saat fase matang. Dampak QLCS yang dikaitkan dengan terjadinya petir (CG), hanya 10 dari 32 kasus (31.25%) yang dapat menimbulkan petir (CG) *cloud to ground (CG)*.

**Kata kunci:** QLCS, Radar cuaca, VWS, Petir CG

#### **ABSTRACT**

*Quasi-Linear Convective System (QLCS)* as one of the phenomena that can cause heavy rains, potency of thunderstorm, and destructive strong winds. This research investigated the occurrence of QLCS in December 2018 – May 2019 in the coverage of Makassar weather radar are which has a C-Band-based weather radar monitoring network with CMAX, Central Tracking, Combined Moment, and Vertical Shear products. The aim of this conducted observation is to find out the distribution pattern of spatial-temporal and wind profile of QLCS and its impact related to thunderstorm. The result shows there are 32 identified cases of QLCS in the Makassar weather radar coverage area which has the duration mostly between 30-60 minutes. The dominant location of QLCS formation is founded in the coastal ocean (CO) which the initiation time mostly happened at night (18.00-23.59 local time). The most direction of propagation is east-southeast by 47% with propagation speed of QLCS cells dominated by slow moving by 47%. Vertical Wind Shear (VWS) speed caused by QLCS, 3 of the 4 types of formation of the maximum VWS speed are always when the phase matures. There are 10 of 32 cases (31.25%) of QLCS which identified as its impact related to the occurrence of thunderstorm cloud to ground (CG).

**Keywords:** QLCS, Weather Radar, VWS, Thunderstorms CG

## 1. Pendahuluan

*Mesoscale Convective System* (MCS) atau sistem konvektif skala meso merupakan sistem kumpulan dari awan Cumulonimbus yang menghasilkan area presipitasi dalam skala horisontal setidaknya 100 km dan berpotensi membawa hujan lebat, angin kencang, *thunderstorms*, banjir, hujan es (*hail*), dan bahkan tornado [1]. Ali dan Adriyanto [2] melakukan kajian di Balikpapan dan Jakarta mengenai sistem konvektif tipe linier tidak terdapat sistem yang memiliki masa hidup lebih dari 6 jam sehingga tidak dapat dikategorikan sebagai MCS jenis tropical squall, melainkan dikategorikan ke dalam fenomena Quasi-Linear Convective System (QLCS)[2]. Perbedaan mendasar antara QLCS dan squall line terletak di masa hidupnya. Dalam Maddox [3] squall line memiliki masa hidup lebih dari 6 jam sedangkan dalam Lombardo dan Colle [4] QLCS tidak dibatasi masa hidupnya namun dibawah 6 jam .

QLCS adalah kumpulan sel – sel awan konvektif y *Quasi-Linear Convective System* (QLCS) menjadi pembentuk awan supersel dengan waktu yang kurang dari 10 menit menyebabkan tornado dengan skala F1 hingga skala F2 yang merusak di wilayah Wisconsin, Amerika Serikat [5]. Kondisi cuaca yang disebabkan oleh QLCS dan supersel memiliki persamaan yang merupakan penyebab terjadinya tornado dab QLCS bahkan menyumbang 18% penyebab terjadinya tornado di Amerika dari tahun 1998 –2000 [5].

Instrumen pengamatan cuaca yang dapat digunakan untuk memantau keberadaan QLCS adalah radar cuaca. Radar cuaca dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan ketika ada muncul sistem badai [6]. Selain itu, radar cuaca juga digunakan untuk mendiagnosis potensi cuaca buruk dengan mengidentifikasi karakteristik untuk kejadian tornado yang disebabkan QLCS [6]. Pemanfaatan radar cuaca dalam hal ini radar cuaca *X – Band* juga pernah dilakukan untuk meneliti QLCS di wilayah Oklahoma Amerika [7].

Beberapa penelitian terkait QLCS telah dilakukan di Indonesia. Kajian awal QLCS di Indonesia dilakukan Ali dan Adriyanto [2] dengan mengklasifikasikan QLCS berdasarkan letak tumbuhnya dan analisis profil angin lapisan bawah serta profil angin lapisan bawah pada kejadian QLCS di Indonesia menggunakan 9 kasus QLCS di Jakarta dan Balikpapan. Wilayah Jakarta selanjutnya

diasumsikan sebagai *flat land* dan wilayah Balikpapan diasumsikan sebagai *sea coastal area*. Penelitian tersebut menyatakan analisis hanya dilakukan pada awan konvektif dan pada awan *stratiform* arah dan kecepatan angin kurang dipertimbangkan. Pada wilayah *flat land* arah dan kecepatan angin sejajar dengan propagasinya seiring dengan QLCS yang stasioner, dan kecepatan angin paling signifikan terletak di tengah sistem. Berbeda dengan area *sea coastal* yang memiliki profil angin rata-rata tegak lurus terhadap sistem dari masa pertumbuhan hingga peluruhan, dan memiliki arah propagasi yang sejajar dengan garis pantai. Penelitian berikutnya dilakukan untuk mengetahui sebaran spasial, temporal, profil propagasi, profil angin lapisan bawah, dan karakteristik pembentukan QLCS di Maumere, Surabaya, dan Pangkalan Bun menggunakan radar cuaca berbasis C-Band pada daerah dengan pola iklim dan tipe hujan yang sama yaitu tipe monsunial [8].

Penelitian Williams dan Carey (2015) di Alabama menganalisis persamaan dan perbedaan ketika terdapat petir (CG) pada peristiwa QLCS tornado maupun yang non-tornado dan hasilnya adalah tornado yang disebabkan oleh QLCS dapat memicu peningkatan intensitas petir (CG) yang lebih besar daripada kasus QLCS non-tornado [9]. Petir (CG) merupakan peristiwa yang berkaitan dengan proses dinamika atmosfer terutama mikrofisika awan, sehingga dapat dijadikan sebagai bagian karakteristik maupun identifikasi kondisi cuaca [10]. Petir (CG) dianggap sebagai fenomena cuaca berbahaya karena dapat menjalar dengan kecepatan cahaya dan energi dari muatan petir (CG) dapat mencapai lebih dari 200.000 *ampere* atau beberapa puluh juta volt [11].

Kajian mengenai sistem badai konvektif bertipe linier oleh Lombardo dan Colle [4] menemukan perbedaan karakteristik sistem konvektif tipe linier di berbagai wilayah seperti pada *high terrain, slope, coastal plain* maupun *coastal ocean*. Topografi Makassar dikelilingi dataran rendah/pantai di sebelah barat yang berbatasan dengan Selat Makassar, dan dataran tinggi di sebelah timur [12].

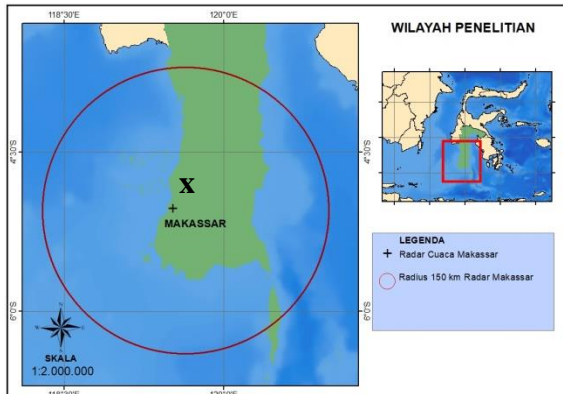
Berdasarkan efek cuaca yang dapat dihasilkan oleh QLCS dan juga karakteristik topografi wilayah Makassar, maka penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan dan kaitannya QLCS terhadap kejadian petir (CG) dengan memanfaatkan radar cuaca di wilayah Makassar. Selain itu, dengan potensi bahaya petir (CG) yang dapat dihasilkan oleh fenomena

QLCS, penelitian ini juga melihat seberapa besar dampak QLCS terhadap potensi jumlah kejadian *thunderstorm* (TS) atau petir (CG).

## 2. Metode Penelitian

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi studi ini dilakukan di wilayah radar cuaca Makassar dengan cakupan luasan 150 km dengan letak astronomis 4° LS - 6° 30' LS dan 118° 00' BT - 120° 05' BT (Gambar 1). Waktu penelitian ini dilakukan selama 6 bulan mulai dari Desember 2018 – Mei 2019.



**Gambar 1.** Wilayah Penelitian Lokasi Radar (+) dan Lokasi *Lightning Detector* (X)

### Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada kejadian QLCS yang diamati oleh Radar cuaca Makassar dengan tipe *Gematronik C-Band* dengan luasan wilayah bisa mencapai 250 kilometer dengan *raw data* format volumetrik (.vol) dengan resolusi waktu 10 menit dengan spasial 300 meter yang didapatkan dari sub bidang pusat pengelolaan citra radar BMKG.

Kejadian petir (CG) dianalisis berdasarkan data pengamatan petir (CG) yang terekam oleh sensor *lightning detector* dengan cakupan 150 km di Stasiun Geofisika Gowa selama Desember 2018 – Mei 2019 yang terletak dekat kasus QLCS di wilayah cakupan 150 km radar cuaca Makassar. Secara umum petir terdiri dari 4 jenis, yakni petir di dalam awan (*Intra Cloud / IC*), petir dari awan ke awan (*Cloud to Cloud / CC*), petir awan ke udara (*Cloud to Air / CA*), dan petir dari awan ke tanah (*Cloud to Ground / CG*) [13]. Pada penelitian ini difokuskan pada petir (CG) jenis awan ke tanah (*Cloud to Ground / CG*) karena yang langsung berdampak kepada kehidupan manusia.

### Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data dan analisis dalam penelitian ini dimulai dengan pengumpulan *raw data* radar cuaca Gematronik Makassar bulan Desember 2018 hingga Mei 2019. Kemudian memilih kejadian QLCS dengan menampilkan nilai *reflectivity* minimum dan maksimum pada produk *Column Maximum* CMAX (Z) yang dapat menghasilkan pandangan gambar dari nilai yang diukur tertinggi pada arah vertikal, yaitu di kolom vertikal di atas setiap pixel. CMAX mengambil set data mentah volume polar, mengkonversinya ke volume *cartesian* dan di *input* pada Rainbow 5.49.11 dengan kriteria syarat QLCS itu harus memenuhi nilai *reflectivity* tertentu, sel itu bisa dikatakan QLCS jika nilai nya minimum 35 dBZ saat mulai terbentuk dan lebih dari 50 dBZ inti selnya saat fase matang, untuk panjang sel lebih dari 50 km dan perbandingan panjang dan lebar maksimum 5:1 dengan *reflectivity* bagian inti  $\geq 50$  dBZ [4]. Lalu melakukan identifikasi fase kejadian QLCS yang telah didapat secara temporal dan spasial dari produk CMAX. Fase kejadian secara temporal dibedakan berdasarkan fase inisiasi dengan *reflectivity*  $>35$ dBZ fase matang dengan *reflectivity* menunjukkan nilai  $>50$  dBZ, dan fase disipasi dengan *reflectivity* mulai  $<50$  dBZ, serta total waktu hidup [4]. Adapun secara spasial untuk memperoleh lokasi sebaran terjadinya QLCS berdasarkan fase inisiasi, matang, dan disipasi. Lokasi tersebut terbagi berdasarkan wilayah laut atau *coastal ocean* (CO), dataran rendah atau *coastal plain* (CP), dan dataran tinggi atau *high terrain* (HT) [4].

Kasus QLCS tersebut kemudian diklasifikasikan jenis pembentukannya yang sama dengan *squall line* menjadi *broken line*, *back building*, *broken areal*, dan *embedded areal*. Bluestein dkk [14] menjelaskan bahwa *broken line formation* ditandai dengan munculnya sel awan dalam bentuk garis yang terpisah-pisah namun berdekatan, dan terbentuk dalam waktu yang relatif sama. Transformasi menjadi pola garis solid terjadi saat setiap sel yang lama mengembang dan sel baru dapat tumbuh diantara sel yang lama. *Back building formation* ditandai dengan adanya sel tunggal besar yang diikuti munculnya sel baru secara periodik yang relatif terhadap arah pergerakan sel utama. diawali dengan sel tunggal besar kemudian sel awan baru tumbuh melebar mengarah ke sel awan yang lama dan bergabung menjadi pola baru. *Broken areal formation* ditandai dengan pertumbuhan sel *amorf* (tak berbentuk) dengan intensitas sedang hingga kuat yang kemudian bergabung membentuk pola garis solid.

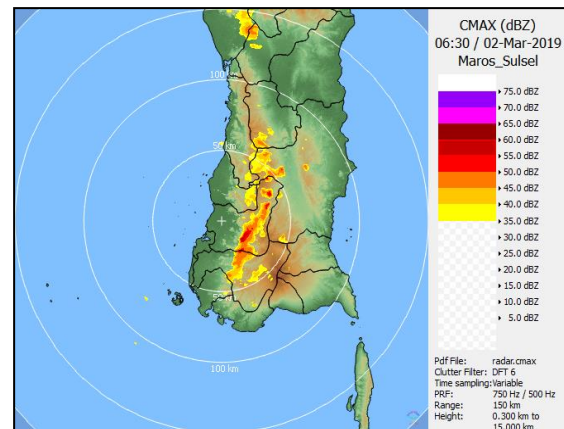
*Embedded areal formation* ditandai dengan munculnya garis konvektif dalam area presipitasi *stratiform* yang luas [14]. Hasil ini dapat diperoleh dengan radar cuaca menggunakan produk CMAX.

Pembentukan profil propagasi yaitu arah dan kecepatan QLCS menggunakan produk CMAX untuk *reflectivity* (Z), dan *Combined Moment* (CM). Arah dan kecepatan angin yang diperoleh dari *output* produk radar tersebut. Arah yang dimaksud adalah kemana QLCS bergerak berdasarkan delapan arah mata angin untuk menentukan propagasi kecepatan sel QLCS dengan produk *Cell Centroid Tracking* (CTR) dan di *overlay* dengan produk CMAX kecepatan propagasi dibedakan menjadi *slow moving* dengan kecepatan kurang dari 3 m/s, *intermediate moving* antara 3 sampai 7 m/s, dan *fast moving* dengan kecepatan lebih dari 7 m/s [15]. Kemudian menentukan kecepatan *Vertical wind shear* (VWS) sel QLCS dengan produk *Vertical Shear* (VSHEAR) dan digabung dengan CMAX. Produk ini berguna untuk mendeteksi adanya perpindahan angin ke atas secara mendadak. Profil angin vertikal QLCS dapat dilihat pula dari *Vertical Wind Shear* (VWS). VWS merupakan perubahan kecepatan horizontal terhadap ketinggian, dan kecepatan horizontalnya merupakan suatu vektor yang memiliki arah dan kecepatan, sehingga nilai VWS dapat dihitung melalui selisih vektor angin horizontal pada dua lapisan yang berbeda [16]. Adapun produk VSHEAR mengambil data volume sebagai input. Nilai kecepatan dikalkulasikan pada dua lapisan cartesian. Nilai shear didefinisikan sebagai perbedaan absolut dari kecepatan diantara bidang cartesian. Terakhir, Menganalisis rawdata pengamatan TS (petir (CG)) yang diolah dari alat *lightning detector* hingga dihasilkan peta sambaran petir (CG) dan tabel berisi daftar jenis-jenis sambaran petir (CG). Dari tabel daftar jenis sambaran petir (CG) ini dapat diperoleh informasi waktu kejadian sambaran petir (CG) *Cloud to Ground* pada kasus QLCS terpilih yang telah diolah terlebih dahulu menggunakan produk radar cuaca. Identifikasi kasus QLCS

tersebut kemudian dianalisis dan menarik kesimpulan karakteristik kejadian QLCS dan dampak kejadian petir (CG) di cakupan radar cuaca Makassar.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data radar cuaca Makassar pada bulan Desember 2018 hingga Mei 2019 dengan produk CMAX terdapat 32 kasus QLCS yang teramati di wilayah jangkauan radar tersebut dengan radius 150 km. Adapun contoh kejadian QLCS yang teridentifikasi oleh radar cuaca Makassar selama rentang waktu penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Kejadian QLCS pada 02 Maret 2019 pukul 06.30 UTC di Wilayah Makassar dengan produk CMAX

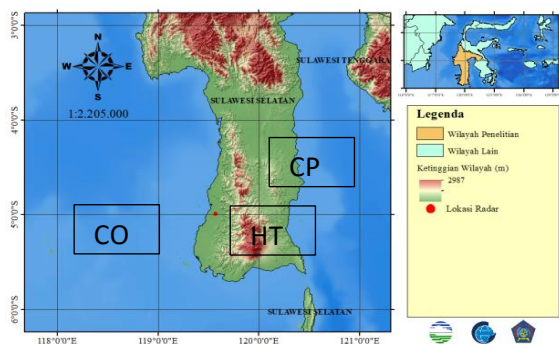
Tabel 1 rincian kejadian QLCS di wilayah Makassar Desember 2018 hingga Mei 2019. Berdasarkan Tabel 1, diketahui kejadian QLCS paling banyak terjadi pada bulan Februari 2019 sebanyak 9 kasus. Adapun kejadian QLCS paling sedikit terjadi pada bulan Maret 2019 yang hanya berjumlah 2 kasus. Kejadian QLCS dengan nilai reflektifitas maksimum terbesar terjadi pada kasus ke-24 tanggal 02 Maret 2019 dengan nilai 60 dBZ dan nilai *reflectivity* maksimum terendah terjadi pada kasus ke-16 tanggal 04 Februari 2019 dengan nilai 50 dBZ.

Tabel 1. Kejadian QLCS di Makassar Desember 2018 hingga Mei 2019

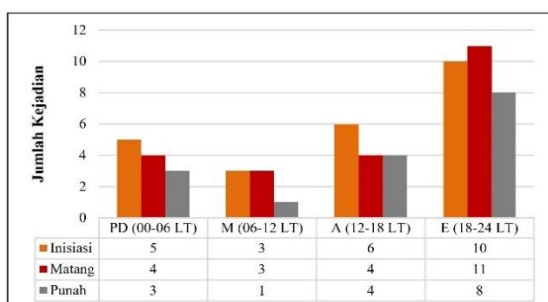
Kasus ke -	Tanggal QLCS	dBZ max	Panjang (Km)	Kasus ke -	Tanggal QLCS	dBZ max	Panjang (Km)
1	2018-12-07	54.5	59.6	17	2019-02-05	51.5	62.4
2	2018-12-08	53.5	54.8	18	2019-02-05	50.5	62.3
3	2018-12-10	52.5	54.6	19	2019-02-05	50.5	56.8
4	2018-12-10	56.5	51.6	20	2019-02-23	55.5	73.9
5	2018-12-11	53.5	72.2	21	2019-02-27	55.0	54.41
6	2018-12-11	51.5	82.6	22	2019-02-27	52.0	90.20
7	2018-12-12	54.0	71.2	23	2019-02-28	50.5	87.4
8	2019-01-24	52.0	60.7	24	2019-03-02	60.0	60.7
9	2019-01-24	51.0	135.7	25	2019-03-28	52.0	78.4
10	2019-01-24	51.0	56.4	26	2009-04-05	52.5	80.4
11	2019-01-25	50.5	83.2	27	2019-04-24	51.5	55.6
12	2019-01-26	52.5	52.3	28	2019-04-28	56.0	86.1
13	2019-01-27	53.0	89.3	29	2019-05-01	51.5	151.1
14	2019-01-28	55.0	64.1	30	2019-05-01	53.5	78.1
15	2019-02-03	52.0	57.2	31	2019-05-02	52.0	88.0
16	2019-02-04	50.0	52.6	32	2019-05-04	54.5	105.1

### Analisis Sebaran Temporal dan Spasial dari QLCS

Sebaran temporal QLCS diklasifikasikan menjadi 4 kategori waktu, yaitu dini hari atau *pre-dawn* (PD) pukul 00.00 – 05.59 LT, pagi hari atau *morning* (M) pukul 06.00 – 11.59 LT, siang hari atau *afternoon* (A) pukul 12.00 – (c) (a) (b) (d) 29 17.59 LT, dan malam hari atau *evening* (E) pukul 18.00 – 23.59 LT. Adapun sebaran spasial dilihat dari lokasi terjadinya QLCS diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu wilayah *coastal ocean* (CO), *coastal plain* (CP) / *slope*, dan *high terrain* (HT). Dapat dilihat di Gambar 3.

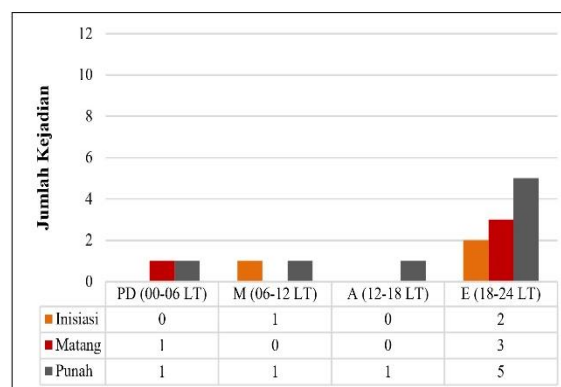


Gambar 3. Sebaran wilayah *coastal ocean* (CO), *coastal plain* (CP) / *slope*, dan *high terrain* (HT).



Gambar 4. Sebaran temporal dan spasial QLCS wilayah *Coastal Ocean* Makassar

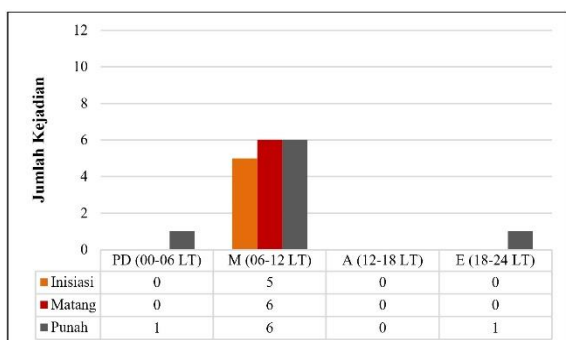
Pada wilayah *coastal ocean* (CO) terdapat 24 kasus QLCS saat fase inisiasi, 22 kasus pada saat fase matang, dan 16 kasus pada saat punah. QLCS paling banyak kasusnya terjadi pada malam hari yaitu 10 kasus pada fase inisiasi, 11 kasus pada fase matang, dan 8 kasus pada fase punah. QLCS di wilayah (CO) paling sedikit terjadi pada pagi hari sebanyak 3 kasus pada fase inisiasi, 3 kasus pada fase matang, dan 1 kasus fase punah. Data tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 5. Sebaran temporal dan spasial QLCS wilayah *Coastal Plain* Makassar

Pada wilayah *coastal plain* (CP) terdapat 3 kasus QLCS saat inisiasi, 4 kasus pada saat fase matang, dan 8 kasus pada saat punah. QLCS paling banyak juga terjadi pada malam hari yaitu 2 kasus pada fase inisiasi, 3 kasus pada fase matang, dan 5 kasus fase punah. QLCS pada siang hari menunjukkan jumlah kasus yang rendah dengan memiliki 1 kasus pada fase punah. Data tersebut dapat dilihat di Gambar 5.





**Gambar 6.** Sebaran temporal dan spasial QLCS wilayah *High Terrain* Makassar

Pada wilayah *high terrain* (HT) hanya pada pagi hari terdeteksi kasus QLCS yaitu 5 kasus saat inisiasi, 6 kasus pada saat fase matang, dan 6 kasus pada saat puncak. Pada siang hari tidak terdeteksi adanya kasus QLCS, sedangkan malam dan dini hari hanya memiliki 1 kasus fase puncak. Data tersebut dapat dilihat di Gambar 6.

Dari data yang diperoleh diatas bahwa selama periode penelitian, tidak terdapat QLCS di cakupan radar cuaca Makassar yang bertahan lebih dari 90 menit. Hal ini sesuai dengan penelitian Ali dan Adriyanto [1] di wilayah Balikpapan dan Jakarta yang juga menyatakan sistem QLCS tidak dapat bertahan lebih dari 120 menit dan juga sesuai dengan penelitian Lombardo dan Colle [4] bahwa tidak ada QLCS yang bertahan lebih dari 6 jam.

#### Klasifikasi Pembentukan QLCS

Berdasarkan hasil pengamatan radar cuaca Makassar pada Desember 2018 hingga Mei 2019 menggunakan produk *reflectivity* maksimum (C<sub>MAX</sub>) yang digunakan untuk analisis klasifikasi pembentukan QLCS yang dilihat dari fase inisiasi hingga ke matang. Klasifikasi pembentukan QLCS dibedakan menjadi empat tipe, yaitu *broken line*, *back building*, *broken areal*, dan *embedded areal* ditemukan hasil sebagaimana tercantum pada Tabel 2.

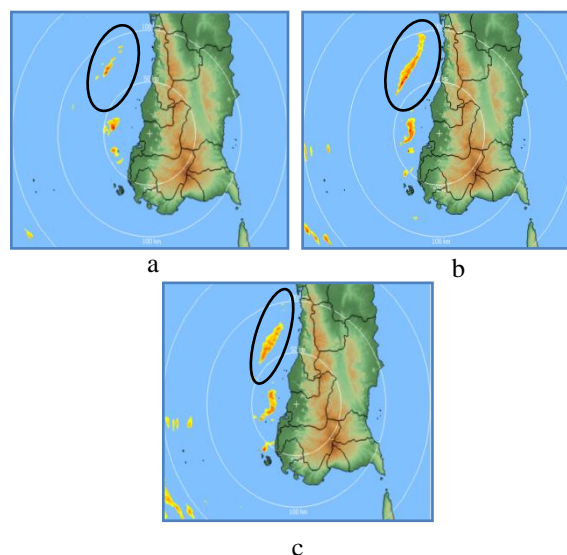
**Tabel 2.** Klasifikasi pembentukan QLCS periode Desember 2018 – Mei 2019

Jenis Pembentukan	CO	CP	HT	Jumlah
<i>Broken Line</i>	15	1	3	19
<i>Back Building</i>	8	1	-	9
<i>Broken Areal</i>	-	-	1	1
<i>Embedded Areal</i>	1	1	1	3

#### **Broken line**

QLCS tipe *broken line* di Makassar terdapat 19 kasus dan paling dominan terdapat di wilayah *coastal ocean*.

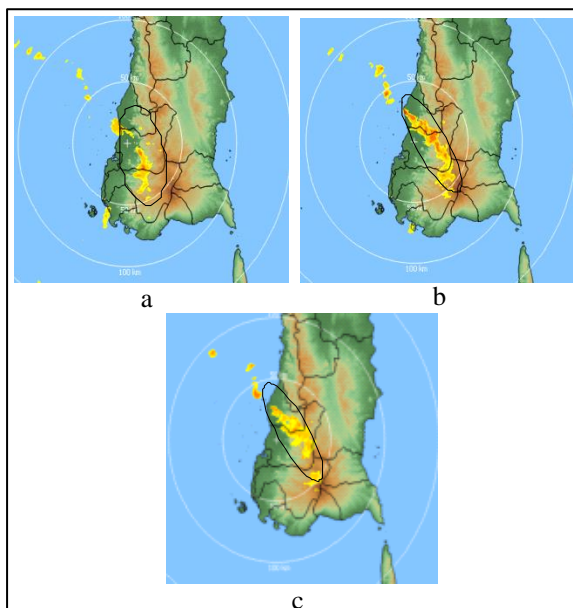
Tipe ini ditandai dengan munculnya sel awan dalam bentuk garis yang terpisah-pisah namun berdekatan, dan terbentuk dalam waktu yang relatif sama membentuk pola linier. Jenis pembentukan *broken line* ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Pembentukan QLCS tipe *broken line* fase inisiasi (a), fase matang (b), dan fase puncak (c)

#### **Back building**

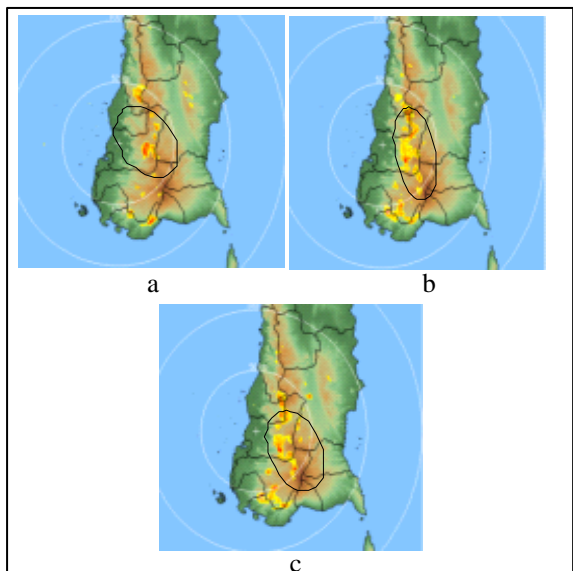
QLCS tipe *back building* di Makassar terdapat 9 kasus dan paling dominan terdapat di wilayah *coastal ocean* (CO). Tipe ini diawali dengan sel tunggal besar dan sel tunggal kecil, kemudian sel awan baru tumbuh melebar mengarah ke sel awan yang lama dan bergabung menjadi pola linier. Jenis pembentukan *back building* ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Pembentukan QLCS tipe *back building* fase inisiasi (a), fase matang (b), dan fase punah (c)

#### **Broken areal**

QLCS tipe *broken areal* di Makassar terdapat hanya 1 kasus yang terdapat wilayah *high terrain* (HT). Tipe ini ditandai dengan pertumbuhan sel *amorf* (tak berbentuk) dengan intensitas sedang hingga kuat yang kemudian bergabung membentuk pola garis linier. Jenis pembentukan *broken areal* ditunjukkan pada Gambar 9.

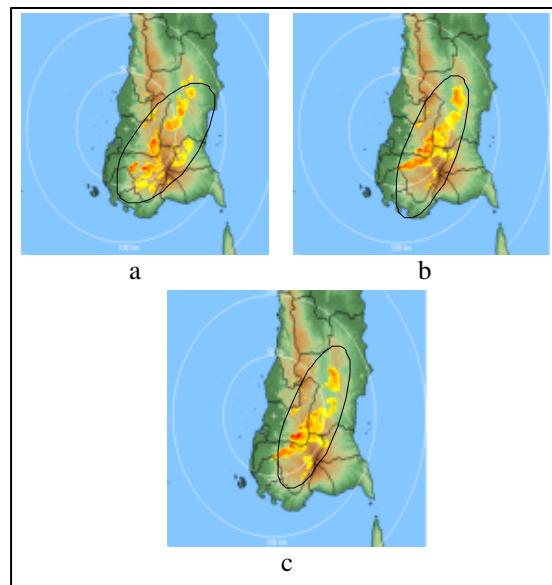


**Gambar 9.** Pembentukan QLCS tipe *broken areal* fase inisiasi (a), fase matang (b), dan fase punah (c)

#### **Embedded areal**

QLCS tipe *embedded areal* di Makassar terdapat 3 kasus yang terdapat di tiga wilayah pembentukan *coastal ocean* (CO), *coastal plain*

(CO), dan *high terrain* (HT). Tipe ini ditandai dengan area sel stratiform yang besar dan didalamnya terdapat sistem konvektif dengan garis linear. Jenis pembentukan *embedded areal* ditunjukkan pada Gambar 10.

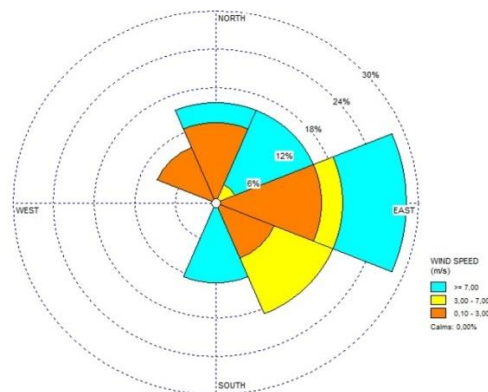


**Gambar 10.** Pembentukan QLCS tipe *embedded areal* fase inisiasi (a), fase matang (b), dan fase punah (c)

Hasil ini memiliki sedikit perbedaan dari kejadian QLCS yang diteliti oleh Astuti dkk [17] di wilayah Bengkulu yang menemukan hasil sebaran QLCS tetap dominan terjadi di *coastal ocean* (CO) namun dengan waktu inisiasi terbanyak pada rentang waktu dini hari atau *pre-dawn* 00.00-05.59 *local time*.

#### **Profil Propagasi QLCS**

Identifikasi profil propagasi QLCS meliputi arah dan kecepatan pergerakannya saat fase matang menuju fase punah dengan produk CMAX, di *overlay* dengan produk *Combined Moment* (CM) untuk dapat mengetahui kemana arah sel bergerak.



**Gambar 11.** Windrose arah propagasi dan

kecepatan dari 32 kasus QLCS dengan aplikasi *windrose* dengan datanya yang diperoleh dari *output* produk Radar Cuaca.

Berdasarkan hasil *overlay* produk CMAX dan CM pada Gambar 11 diketahui bahwa kejadian QLCS di cakupan radar cuaca Makassar dan di *input* ke dalam aplikasi *windrose* memiliki arah propagasi dominan ke arah timur sebanyak 28%, kemudian diikuti arah tenggara sebanyak 19%, ke arah utara-timur laut memiliki presentase yang sama yaitu 16%, ke arah selatan sebanyak 12%, dan ke arah barat laut sebanyak 9%. Kejadian QLCS di cakupan radar cuaca Makassar memiliki arah propagasi terbanyak ke arah timur-tenggara sebesar 47% yang berbanding lurus dengan aktifnya angin monsun dari Asia pada bulan Desember - Januari - Februari (DJF) dan Maret - April - Mei (MAM) yang membawa massa udara basah dari Asia yang memasuki wilayah Indonesia. Adapun Hasil analisis kecepatan propagasi sistem QLCS berdasarkan Barnes dan Sieckman [15] yang mengklasifikasikan kecepatan sistem konvektif menjadi tiga jenis yaitu, *slow moving* (kurang dari 3 m/s), *intermediate moving* (3 sampai 7 m/s), dan *fast moving* (lebih dari 7 m/s). QLCS di wilayah radar cuaca Makassar pada bulan Desember

2018 – Mei 2019 didominasi oleh pergerakan *slow moving* sebesar 47% atau sebanyak 15 kasus, Kemudian diikuti oleh *fast moving* sebanyak 37% atau 12 kasus dan *intermediate moving* sebesar 16% atau 5 kasus.

#### Profil Kecepatan Vertical Wind Shear (VWS) QLCS

Hasil analisis dari adanya QLCS terhadap VWS di Makassar yang sebelumnya didapatkan dari produk radar VSHEAR dari jumlah kasus QLCS berdasarkan jenis pembentukannya klasifikasi jenis pembentukan QLCS terhadap adanya VWS periode Desember 2018 – Mei 2019 ditunjukkan pada Tabel 3. Adanya VWS yang disebabkan oleh QLCS memiliki kecepatan yang bervariasi. Tipe pembentukan *broken line* saat fase inisiasi memiliki kecepatan VWS yang paling tinggi sebesar 2.62 m/s/km. Tipe *broken areal* saat fase matang memiliki nilai kecepatan VWS yang paling tinggi sebesar 7,37 m/s/km dan tipe *embedded areal* saat fase punah memiliki kecepatan VWS yang paling tinggi sebesar 4,38 m/s/km. Terdapat 3 dari 4 jenis pembentukan QLCS, kecepatan VWS maksimum saat fase matang dan menurun saat fase punah. Adapun anomali tipe *embedded areal* memiliki kecepatan VWS maksimum ketika fase punah QLCS.

**Tabel 3.** Klasifikasi jenis pembentukan QLCS terhadap adanya VWS periode Desember 2018 – Mei 2019

No	Jenis Pembentukan	Fase			Jumlah Kasus
		Inisiasi (m/s)/km	Matang (m/s)/km	Punah (m/s)/km	
1.	<i>broken line</i>	2,62	3,75	2,51	19
2.	<i>broken areal</i>	0,77	7,37	0,49	1
3.	<i>back building</i>	1,70	4,35	2,44	9
4.	<i>embedded areal</i>	1,23	3,74	4,38	3

**Tabel 4.** Dampak QLCS terhadap kejadian petir *Cloud to Ground* (CG) periode Desember 2018 – Mei 2019

No.	Tanggal QLCS	dBZ max	Jenis Pembentukan
1.	2018-12-11	51.5	<i>back building</i>
2.	2019-01-24	52.0	<i>broken line</i>
3.	2019-01-27	53.0	<i>back building</i>
4.	2019-01-28	55.0	<i>broken line</i>
5.	2019-02-05	50.5	<i>broken line</i>
6.	2019-02-23	55.5	<i>broken line</i>
7.	2019-03-02	60.0	<i>embedded areal</i>
8.	2019-04-05	52.5	<i>broken line</i>
9.	2019-05-01	51.5	<i>broken line</i>
10.	2019-05-02	52.0	<i>embedded areal</i>

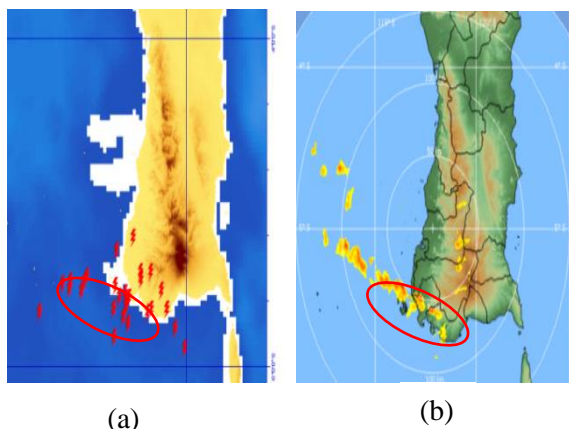


### QLCS terkait dampak kejadian petir (CG)

Berdasarkan hasil pengamatan *lightning detector* stasiun Geofisika Gowa Makassar periode Desember 2018 – Mei 2019, dari 32 kasus QLCS terdapat 10 kasus QLCS yang dapat menimbulkan kejadian petir (CG) dan 22 kasus QLCS tidak menimbulkan kejadian petir (CG). Berdasarkan data tersebut diperoleh bahwa QLCS dengan *reflectivity* berkisar antara 50 - 60 dBZ saat fase matang, tidak ditemukan pola khusus untuk kejadian petir (CG) sesuai dengan lokasi QLCS. Hal ini bertentangan dengan aktivitas petir (CG) yang terjadi di area dengan nilai diatas 30 dBZ wilayah Maryland seperti yang disampaikan oleh Anderson dkk [18]. Penelitian ini membahas sampel dua kasus kejadian petir (CG) yang signifikan dan tidak signifikan. Rincian QLCS terhadap kejadian petir (CG) ditampilkan dalam Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4 ditemukan bahwa 3 dari 10 kasus kejadian petir (CG) terjadi pada bulan Januari. Kejadian petir (CG) yang disebabkan QLCS di wilayah Makassar didominasi jenis pembentukan QLCS tipe *broken line* dengan 6 dari 10 kasus kejadian petir (CG).

Contoh perbandingan spasial saat terjadi sambaran petir (CG) pada tanggal 24 Januari 2019 ditampilkan pada Gambar 11. Data pengamatan *lightning detector* menunjukkan tercatat sambaran petir (CG) pukul 06.30 – 07.30 WITA di selatan cakupan radar cuaca Makassar. Pengamatan dimulai saat terjadinya fase inisiasi hingga punahnya QLCS dimana radar menunjukkan pukul 23.00 UTC (07.00 WITA) ketika QLCS saat fase matang. *Reflectivity echo* radar cuaca Makassar pada pukul 23.00 UTC (07.00 WITA) di lokasi terjadinya sambaran petir (CG) memiliki nilai 52.0 dBZ.



**Gambar 11.** Peta sambaran petir (CG) (a) dan citra radar produk CMAX (b) pada tanggal 24 Januari

2019 00.20 UTC, dimana lingkaran merah menunjukkan sel echo QLCS dan petir (CG)

Penelitian yang ditemukan dari 32 kasus QLCS yang teridentifikasi, hanya 10 kasus (31.25%) QLCS yang dapat menimbulkan terjadinya petir (CG), sementara pada 22 kasus lainnya (68.75%) tidak terdeteksi kejadian petir (CG). Hal ini mengindikasikan bahwa tidak semua 41 kasus QLCS yang termasuk bagian linier MCS dapat menimbulkan petir (CG) atau *thunderstorms*.

### 4. Kesimpulan

Pola sebaran temporal, keseluruhan QLCS pada saat fase matang di Makassar pada periode Desember 2018 – Mei 2019 paling banyak terdapat pada waktu malam hari / *evening* yang terjadi pada pukul 18.00-23.59 *local time*. Dalam penelitian ini tidak terdapat QLCS di cakupan radar cuaca Makassar yang bertahan lebih dari 90 menit. Pola QLCS tidak dapat bertahan lebih dari 120 menit dan juga sesuai dengan penelitian Lombardo dan Colle (2012) bahwa tidak ada QLCS yang bertahan lebih dari 6 jam. Secara spasial, keseluruhan QLCS di Makassar pada periode Desember 2018 – Mei 2019 paling banyak terinisiasi di wilayah *coastal ocean* (CO) sebanyak 75%. Wilayah lautan (CO) sekitar Makassar merupakan tempat yang baik untuk inisiasi dan perkembangan QLCS. QLCS mendapatkan cukup energi dan inti kondensasi untuk berkembang menjadi matang. Penelitian tentang QLCS di Makassar juga sesuai dengan penelitian Lombardo dan Colle [4] yang menemukan sebuah terminologi baru klasifikasi *Mesoscale Convective Systems* tipe  $\beta$  dari Orlanski [19] suatu sistem konvektif linier yang memiliki masa hidup tidak lebih dari 6 jam dan memiliki panjang sel minimal 25-250 km.

Kejadian QLCS di cakupan radar cuaca Makassar memiliki arah propagasi terbanyak ke arah timur-tenggara sebanyak 47% yang berbanding lurus dengan aktifnya angin monsun dari Asia pada bulan Desember - Januari - Februari (DJF) dan Maret - April - Mei (MAM) yang membawa massa udara basah dari Asia yang memasuki wilayah Indonesia. Adapun, kecepatan propagasi sel QLCS didominasi oleh *slow moving* sebesar 47%. Profil angin VWS yang disebabkan QLCS di Makassar ditemukan bahwa 3 dari 4 jenis pembentukan kecepatan VWS maksimum selalu ketika fase matang dan menurun ketika fase purnah.

Dampak dari QLCS yang dikaitkan dengan kejadian petir *Cloud to Ground* (CG), bahwa dari 32 kasus QLCS yang dapat menimbulkan terjadinya petir (CG) hanya 10 kasus (31.25%) dan 22 kasus (68.75%) tidak terdeteksi adanya kejadian petir (CG). Hal ini mengindikasikan bahwa tidak semua kasus QLCS yang termasuk bagian linier MCS dapat menimbulkan petir atau *thunderstorms* seperti yang diteliti oleh Houze [1].

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Sub Bidang Pusat Pengelolaan Citra Radar Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) selaku penyedia data radar cuaca Makassar dan kepada Stasiun Geofisika Gowa selaku penyedia data petir (CG) sehingga penelitian ini dapat dilakukan. Terima kasih juga diucapkan kepada Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG) yang telah memberikan dukungan berupa akses referensi skripsi dalam proses penelitian ini serta terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) yang menyediakan peta dasar pada situsnya sehingga bisa dimanfaatkan dalam pembuatan peta lokasi penelitian.

## Daftar Pustaka

- [1] Houze, Jr. R. A. (2004). Mesoscale Convective Systems. *Rev. Geophys.*, 42, 1– 43.
- [2] Ali, A., Hidayah, T., & Adriyanto, R. (2016). Low Level Wind Profile Analysis Associated to The Formation of Quasi-Linear Convective System in Indonesia. *ERAD*.
- [3] Maddox, R. A. (1980). Mesoscale Convective Complexes, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 61 (11), 1374–1387.
- [4] Lombardo, K. A. & Colle, B. A. (2012). Ambient Conditions Associated with the Maintenance and Decay of Quasi-Linear Convective System Crossing the Northeastern U.S. Coast. *Mon. Weather Rev*, 140, 3805-3819.
- [5] Binau, S. & Baumgardt, D. A. (2005). Storm Mode Evolution From A Quasi Linear Convective System To A Discrete Tornadoic Supercell During The Historic Wisconsin Tornado Outbreak Of 18 August 2005. *National Weather Service*, 19(2).
- [6] SELEX. (2013) *Software Manual Rainbow 5 Product & Algorithms*, SELEX SIGmbH, Germany.
- [7] Mahale, V. N., Brotzge, J. A., & Bluestein, H. B. (2012). An Analysis of Vortices Embedded within a Quasi-Linear Convective System Using X-Band Polarimetric Radar. *American Meteorological Society*, 27, 1521-1537.
- [8] Akhirta, N. (2018). Karakteristik Quasi-Linear Convective System di Kawasan Tropis Berbasis Radar Cuaca C-Band Di Maumere, Surabaya, Dan Pangkalan Bun. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2<sup>nd</sup> *International Conference on Tropical Meteorology and Atmospheric Sciences*.
- [9] Williams, B. M. & Carey, L. D. (2015). Assessing The Utility Of Total Lightning And The Lightning Jump To Assist In The QLCS Tornado Warning Decision Process. Alabama: *Department of Atmospheric Science*.
- [10] Tjasyono, B.H.K. (2012). *Mikrofisika Awan dan Hujan*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.
- [11] Geitz, W. C., & Jack, M. (1992). Application of Lightning Detection and Warning Systems Within the Explosives and Blasting Environment. *Proceeding of Explosives Safety Seminar*, 18 – 20 Agustus 1992, 2, 161-172.
- [12] Wirjohamidjojo, S., & Swarinoto, Y. (2010). *Iklim Kawasan Indonesia*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- [13] Husni, M. (2012). *Magnet Bumi dan Listrik Udara*. Tangerang Selatan: Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- [14] Bluestein, H. B., Marx, G. T., & Jain, M. H. (1987). Formation of Mesoscale Lines of Precipitation: Nonsevere Squall Lines in Oklahoma during the Spring. *Monthly Weather Review*, 115(11), 2719–2727.
- [15] Barnes, G. M. & Sieckman, K. (1984). The Environment of Fast and Slow Moving Tropical Mesoscale Convective Cloud Lines. *Mon. Weather Rev*, 112(9), 1782–1794.
- [16] COMET. (2013) *Principles of Convection III: Shear and Convective Storms*, Retrieved from <http://www.meted.ucar.edu/mesoprim/shear/>
- [17] Astuti, F.N., Siregar, M.A.R., Kesaulya, E.C., Nugraheni, I.R., & Deranadyan G. (2019). Identifikasi Karakteristik Quasi Linear Convective System di Kawasan Bengkulu pada Oktober sampai Desember 2017 berbasis Citra Radar Cuaca. *Seminar Nasional GEOTIK 2019*.
- [18] Anderson, J., Choglin, L., & Novakovskaia, E. (2011). *Total Lightning and Radar Reflectivity*. Germantown, Maryland, USA: Stan Heckman Earth Networks.
- [19] Orlanski, I. (1975). A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric Processes, *Bulletin of American Meteorological Society*, Vol. 56 (5): 527-530.