

KONDISI SINOPTIK MESOSCALE CONVECTIVE SYSTEM JENIS SQUALL LINE DI KEPULAUAN BANGKA BELITUNG

Akhmad Fadholi

Stasiun Meteorologi Klas I Pangkalpinang

Abstrak. Pada tanggal 28 hingga 29 Desember 2013 terjadi gangguan cuaca dalam skala meso (*Mesoscale Convective System*) dalam bentuk *Squall Line* yang memanjang di atas wilayah Kepulauan Bangka Belitung. Fenomena yang terantau oleh *Multifunctional Transport Satellite* pada citra kanal infra merah ini berdampak pada hujan lebat dengan durasi cukup lama hingga teridentifikasi sebagai *nocturnal heavy rain* yang dibuktikan menggunakan data satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission*. Informasi media menyatakan hujan lebat terjadi selama berjam-jam mengguyur Pulau Bangka dan Belitung menyebabkan banjir dan kerusakan lainnya. Analisis kondisi sinoptik menggunakan data *reanalysis National Center of Environmental Prediction* dan *Global Spectral Model*, serta data *sounding* menunjukkan adanya peran *wind shear*, *low level jet*, *moisture transport*, *moisture convergence*, serta indeks stabilitas yang mengindikasikan potensi pertumbuhan awan konvektif dalam skala luas dan massa hidup yang cukup lama.

Kata kunci: *Mesoscale Convective System*, *Squall Line*, Gangguan cuaca, Kondisi sinoptik.

Abstract. On 28-29 December, 2013 was occurred a meso-scale weather disturbance (*Mesoscale Convective System*) in form of *Squall Line* which covers the region of Bangka Belitung archipelago. Phenomenon which caught by *Multifunctional Transport Satellite* with infrared imagery produce heavy rain with a long duration and identified as *nocturnal heavy rain* which proved by *Tropical Rainfall Measuring Mission* data. Pers information claims that heavy rain occurs in hours causing flood and other damage. Analysis of synoptic conditions using *reanalysis data from the National Center for Environmental Prediction* and the *Global Spectral Model* of the Japan Meteorological Agency shows significant role of weather disturbances in synoptic scale. They are wind shear, low level jet, moisture convergences, and moisture transport, and

also the stability indices that cause convective growth in large scale with long life span.

Keywords: *Mesoscale Convective System*, *Squall Line*, Weather disturbances, Synoptic conditions.

Pendahuluan

Pada tanggal 28-29 Desember 2013 terjadi fenomena gangguan cuaca skala meso (*Mesoscale Convective System*) dalam bentuk *Squall Line* di Kepulauan Bangka Belitung yang menghasilkan hujan lebat yang mengguyur sebagian besar Pulau Bangka dan Belitung. Selain cakupan hujan lebat yang luas, durasi waktu yang cukup lama menyebabkan dampak banjir yang terjadi di beberapa Kabupaten yang ada di Pulau Bangka dan Belitung. Media massa dan elektronik lokal melaporkan akibat hujan lebat dalam durasi yang lama tersebut terjadi banjir paling sedikit di tiga Kabupaten di wilayah Kepulauan Bangka Belitung dan menyebabkan ratusan rumah tergenang, korban meninggal dunia, serta beberapa infrastruktur publik mengalami kerusakan parah.

Kemunculan *Squall Line* yang teridentifikasi melalui citra satelit (Folleau & Roca, 2013) dengan dampak yang ditimbulkan berupa curah hujan berintensitas tinggi (Choi et al, 2011), bisa jadi berhubungan dengan peningkatan konvergensi kelembaban di atmosfer yang berdampak pada peningkatan kecepatan intensitas curah hujan dibanding rata-ratanya (Kharin et al., 2007; O'Gorman & Schneider, 2009; Lau & Wu, 2011). Selain itu, intensitas hujan ekstrim biasanya merupakan resultan dari beberapa parameter meteorologi yang saling menunjang dalam pembentukan labilitas atmosfer dalam skala yang lebih luas dari skala lokal serta *moisture transport* dan *moisture convergence* dalam skala luas (Reale et al, 2011). Oleh sebab itu, dalam penelitian ini dilakukan analisis kondisi parameter cuaca dalam skala sinoptik terkait pembentukan *Squall Line*.

Mesoscale Convective System (MCS)

Houze (1993) memaparkan MCS merupakan sebuah system awan Cumulonimbus yang dapat memproduksi hujan secara continue pada area dengan panjang lebih dari 100 km. Namun lebih dari itu lebih dari itu, Houze (1993) menambahkan jika MCS lebih kompleks dibandingkan individual Cumulonimbus. Khususnya di wilayah tropis, pertumbuhan awan konvektif yang kuat mencakup berbagai skala luas (Redelsperger, 1997). Jika individual dan atau barisan Cumulonimbus berkumpul menjadi MCS maka fenomena tambahan akan muncul antara lain hujan dari awan *stratiform* pada area yang luas (Houze, 1993) karena pada MCS juga terdapat awan dan struktur hujan yang bervariasi (Houze et al., 1990). Selain badai guntur dan banjir yang disebabkan intensitas hujan tinggi akibat MCS (Houze, 2004), Dampak yang umum lainnya yang diakibatkan oleh MCS diantaranya badai guntur, *tayphoon*, serta konvektivitas yang intensif (Jiang & Fan, 2002). Lin (2007) membagi jenis-jenis MCS diantaranya *Squall Lines* dan *rain bands* (Mathon & Laurent, 2001), *mesoscale convective complexes* (Maddox, 1980), hingga *tropical cyclones* (Smith & Mehta, 1990).

Squall Line

Squall Line merupakan system badai (Cumulonimbus) aktif yang sempit dengan perubahan parameter cuaca secara tiba-tiba yang dapat mengakibatkan kerusakan serius dan bencana alam dalam waktu yang singkat (Zhang et al., 2001; Shou, 2002). Kajian terkait *Squall Line* di wilayah Indonesia telah dilakukan oleh Berdasarkan analisis peta cuaca konvensional dan citra satelit, Qi and Chen (2004) meneliti *Squall Line* yang terbentuk dari MCS. *Squall Line* menghasilkan hujan lebat hingga menyebabkan banjir (Mohd Nor and Rakhecha, 2008) dan angin kencang (Yi and Lim, 2006).

Secara umum fase hidup MCS adalah fase awal, dewasa, kepunahan (Houze, 1982). Namun, Fujita (1955) memaparkan fase hidup dari *Squall Line* yaitu fase awal (*initial*), fase pertumbuhan (*development*), fase dewasa (*mature*), dan fase punah (*dissipation*) dengan memperhatikan beberapa parameter pada skala sinoptik. Kondisi parameter dalam skala sinoptik yang berpengaruh pada pembentukan *Squall Lines* kelembaban udara yang berperan pada *moisture transport* (Bentley, 1997) dan *moisture convergence* (Alfonso & Naranjo, 1996). Kondisi medan angin pada lapisan bawah (*low level*), tengah (*middle level*), dan atas (*upper level*) pada kasus *Squall Line* (Houze & Biggerstaff, 1991; Remedio, 2013)

juga perlu diperhatikan khususnya dalam mengetahui kondisi *low level jet* (Bian et al., 1992) dimana ketebalan lapisan *low level jet* sangat penting untuk proses perambatan *Squall Line* di daratan (Silva Dias and Ferreira, 1992) dan *low level convergence* (Ross, 1987) yang merupakan salah satu penyebab utama pertumbuhan MCS di sekitar Kalimantan (Houze et al., 1981), serta perambatan *Squall Line* (Doswell, 1996). Selain memperhatikan parameter kondisi sinoptik, dalam analisis *Squall Line* atau MCS pada umumnya juga digunakan hasil pengamatan sounding untuk mengetahui nilai-nilai indeks stabilitas (Jorgensen et al, 1997., Kessinger et al, 1986., Bryan et al, 2010) pada sekitar waktu kejadian (fase inisial hingga kepunahan). Pada beberapa penelitian terkait MCS khususnya *Squall Line* diperlukan juga data sounding Pada kasus *Squall Line* di wilayah tropis juga identik dengan karakter nilai CAPE yang cenderung moderat dan terbentuk dari *shear* yang luas, konvergensi ITCZ, palung equatorial, dan monsoon trough (Mohr and Thorncroft, 2006).

Metodologi

Pada penelitian ini digunakan beberapa data diantaranya, Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) (Druryan and Fulakeza, 2012) yang diunduh melalui <http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/realtime.3B42RT.2.shtml>, Multifunctional Transport Satellite (MTSAT) (Centrone & Houze, 2009) dan data Global Spectral Model (GSM) dari Japan Meteorological Agency (JMA) (Akter & Ishikawa, 2013) yang diperoleh dari Subbidang Pengelolaan Citra Satelit BMKG, dan data reanalysis dari National Center of Environmental Prediction (NCEP) (Berkes et al, 2012) yang diunduh melalui www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.pressure.html. Serta hasil pengamatan udara atas menggunakan radiosonde Stasiun Meteorologi Pangkalpinang.

Citra satelit kanal Infra Merah MTSAT dari JMA digunakan untuk melihat fenomena konvektif pada skala yang luas. MTSAT menyediakan citra dengan resolusi spasial 0.05° yang dihasilkan tiap 1 jam khususnya dalam memonitor awan dan distribusi uap air. Dalam penelitian ini juga digunakan data TRMM yang tersedia dengan resolusi spasial 0.25° dan temporal tiap 3 jam untuk mengetahui akumulasi curah hujan sebagai dampak dari *Squall Line* pada kasus ini. Data

model GSM dengan resolusi 1.125° dari JMA tiap 6 jam untuk menganalisis kelembaban dalam skala sinoptik menggunakan komponen angin, suhu, dan depresi titik embun untuk menghitung kelembaban. NCEP reanalysis data dengan resolusi spasial 2.5° dan temporal tiap 6 jam digunakan untuk melihat precipitable water dan profil vertikal kelembaban udara di wilayah tropis di sekitar wilayah kejadian. Baik citra MTSAT, TRMM, maupun data NCEP merupakan data NetCDF (nc) yang kemudian diolah menggunakan aplikasi Grads.

Pada penelitian ini, untuk mengetahui labilitas atmosfer saat kejadian *Squall Line*, digunakan data *sounding* yang diolah menggunakan aplikasi Raob. Beberapa indeks stabilitas dihimpun antara lain Lifted Index (LI), K Index (KI), Showalter Index (SI), Total Total (TT), dan Convective Available Potential Energy (CAPE), dan secara detil indeks stabilitas yang digunakan telah dijelaskan oleh Pettegrew et al (2009).

Hasil dan Pembahasan

Kejadian *Squall Line*

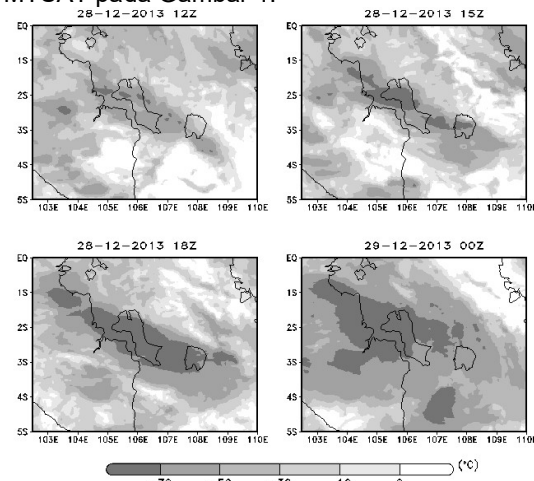
Indikasi dan identifikasi awal pembentukan *Squall Line* di atas Pulau Bangka dan Belitung melalui citra satelit (Fioleau & Roca, 2013) sekitar pukul 12.00 UTC tanggal 28 Desember 2013. Eksistensi dari adanya kumpulan awan Cumulonimbus semakin nyata yang terindikasi melalui citra satelit MTSAT pada pukul 15.00 UTC tanggal 28 Desember 2013. Indikasi kumpulan awan Cumulonimbus menjadi tiga bagian besar dan menutupi seluruh wilayah Selat Bangka dan Pulau Bangka, Selat Gelasa, dan Pulau Belitung dengan indikasi suhu puncak awan mencapai kurang dari -50°C . Keberadaan kumpulan awan Cumulonimbus pada pukul 15.00 UTC juga disertai curah hujan yang mulai terakumulasi.

Fenomena *Squall Line* terindikasi sangat jelas melalui citra satelit pada pukul 18.00 UTC. Identifikasi suhu puncak awan secara jelas memanjang dengan rapat mulai dari daratan Sumatera melintang hingga Pulau Bangka dan Belitung dengan suhu puncak awan mencapai -70°C . Dampak dari kondisi tersebut adalah mulainya terjadi hujan lebat di Pulau Bangka dan Belitung. Berdasarkan data TRMM, intensitas curah hujan pada kejadian tersebut mencapai puncaknya pada pukul 18.00 UTC dengan kondisi yang merata yaitu di area yang tertutup oleh *Squall Line* tersebut.

Kondisi *Squall Line* yang matang hingga mencapai durasi tiga jam terindikasi mengalami fase kepunahan pada pukul 00.00 UTC tanggal 29 Desember 2014 seiring

terbitnya matahari di wilayah Indonesia bagian barat. Identifikasi suhu puncak awan dari satelit MTSAT memperlihatkan adanya perubahan komposisi dan posisi awan Cumulonimbus (Wang et al, 2013). Awan konvektif mulai terbentuk secara meluas di perairan utara Bangka dan daratan Sumatera, sedangkan peluruhan mulai terjadi di Pulau Belitung dan Sebagian Pulau Bangka.

Squall Line merupakan salah satu gangguan cuaca dalam skala meso yang dapat dianalisis dengan memperhatikan gejala gangguan skala sinoptik yang terjadi. Sebagai bentuk respon dari gangguan cuaca yang terjadi, identifikasi *Squall Line* umumnya diketahui melalui citra satelit dengan dengan mengadopsi hasil penelitian Maddox (1980) dengan ketentuan suhu puncak awan lebih dingin dari -52°C . Pada kasus ini dapat diketahui melalui pengolahan citra satelit MTSAT pada Gambar 1.

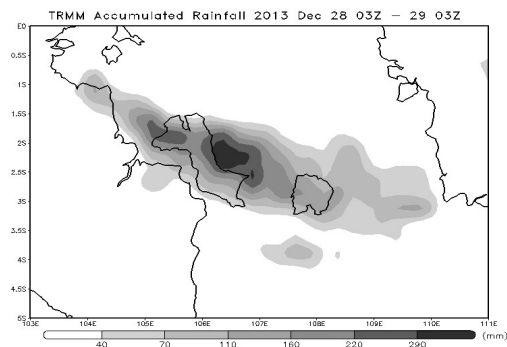


Gambar 1. Citra kanal Infra Merah MTSAT mulai tanggal 28 Desember 2013 jam 12Z hingga 29 Desember 2013 jam 00Z untuk mengetahui indikasi pertumbuhan dan perkembangan *Squall Line*.

Citra satelit kanal infra merah MTSAT pada Gambar 1 memberikan penjelasan tentang identifikasi mulai terbentuknya (inisiasi) *Squall Line* hingga masa purnah. Pada pukul 12 UTC tanggal 28 Desember 2013, identifikasi suhu puncak awan di atas Kepulauan Bangka Belitung memberikan informasi adanya pola suhu puncak awan dengan suhu lebih rendah dari -50°C yang memanjang dari ujung utara Pulau Bangka hingga Pulau Belitung. Jika dilihat lebih teliti, ada pola seperti lingkaran kecil (lonjong) dengan suhu mencapai -70°C (Houze, 2004). hal tersebut diindikasikan sebagai puncak beberapa sel awan Cumulonimbus. Dalam hal ini, dapat dikatakan bahwa beberapa sel awan Cumulonimbus telah terbentuk pada pukul 12 UTC. Kondisi ini berkaitan dengan inisiasi

Squall Line dimana pada awal pembentukan *Squall Line* terdiri dari beberapa sel awan Cumulonimbus. Pada pukul 15 UTC, identifikasi suhu puncak awan di bawah -70°C semakin menunjukkan pola yang meluas hingga puncaknya pada pukul 18 UTC. Hampir seluruh wilayah Kepulauan Bangka Belitung baik wilayah daratan maupun perairan (Selat Gelasa dan Selat Bangka) bahkan hingga daratan Sumatera Selatan tertutupi oleh pola suhu puncak awan di bawah -70°C . Pola suhu kecerahan citra satelit MTSAT ini memberikan gambaran active precipitating area dengan threshold untuk lintang tengah dan tropis sebesar 208°K atau sekitar -65°C (Maddox, 1980; Mapes & Houze, 1992; Chen, et al, 1996).

Perkembangan *Squall Line* pada pukul 00 UTC tanggal 29 Desember 2013 menunjukkan adanya perambatan (propagasi) dimana konsentrasi suhu puncak awan mulai menghangat di wilayah Bangka bagian selatan dan Pulau Belitung. Namun, pola suhu puncak awan di bawah -70°C meluas di wilayah Pulau Bangka bagian utara, Selat Gelasa, daratan Sumatera selatan hingga Jambi. Selain diartikan sebagai propagasi/perambatan *Squall Line*, kondisi tersebut juga diindikasikan sebagai masa kepunahan *Squall Line* yang dapat dibuktikan dengan melihat penurunan intensitas curah hujan yang terjadi.



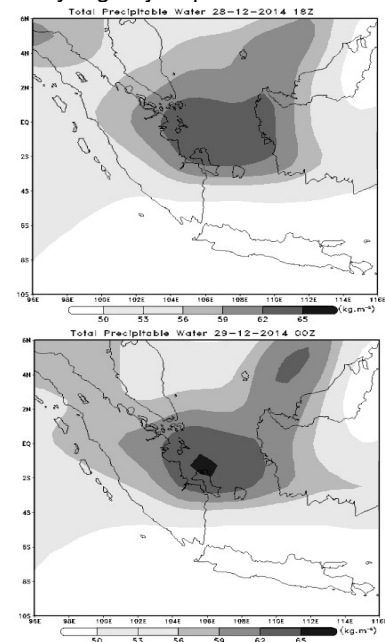
Gambar 2. Akumulasi curah hujan mulai 28 Desember 2013 jam 03Z hingga 29 Desember 2013 jam 03Z menunjukkan pola memanjang cuah hujan tinggi dari Pulau Bangka hingga Belitung.

Akumulasi curah hujan tanggal 28 Februari 2013 dengan menggunakan data TRMM (Berkes et al, 2012; Cetrone & Houze, 2009) memberikan gambaran tentang salah satu efek dari MCS khususnya *Squall Line* yaitu curah hujan yang lebat yang terjadi pada area yang luas (Knippertz et al, 2003). Pada Gambar 2 di atas dapat dijelaskan bahwa pola yang terjadi pada citra satelit mempunyai kemiripan dengan pola curah hujan

yang terjadi. Pola curah hujan lebat (>50 mm/hari) (BMKG, 2010) terjadi hampir di seluruh wilayah Kepulauan Bangka Belitung.

Konsentrasi curah hujan dengan intensitas tertinggi diketahui terjadi pada dua wilayah yaitu Bangka Barat dengan curah hujan lebih dari 220 mm dan pesisir timur Pulau Bangka dengan curah hujan mencapai 290 mm dalam sehari pada tanggal 28 Februari 2013. Namun, meskipun pola dengan curah hujan tertinggi terjadi di wilayah Bangka, dampak dari curah hujan lebat yang terjadi dari aktivitas *Squall Line* ini terjadi di Pulau Bangka dan Belitung. Banjir yang terjadi akibat hujan berintensitas tinggi terjadi di beberapa Kabupaten termasuk di Pulau Belitung.

Analisis lebih lanjut pada intensitas hujan tiap tiga jam dibandingkan dengan hasil penelitian Churchill dan Houze (1984) terkait intensitas hujan kejadian MCS di sekitar Pulau Kalimantan maka terdapat pola yang hampir sama. Hampir semua intensitas hujan pada tiap grid memiliki pola dengan puncak (intensitas tertinggi) terjadi pada pukul 18 hingga 21 UTC. Kondisi tersebut juga bersesuaian dengan penelitian Oshawa et al., (2001) terkait puncak curah hujan di sekitar Sumatera yang terjadi pada waktu ini hari.



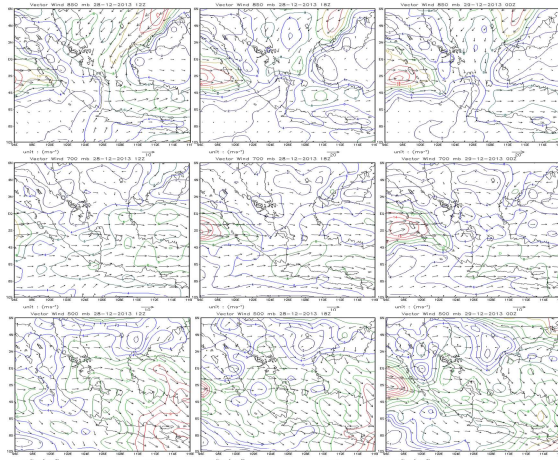
Gambar 3. Pola total precipitable water dari NCEP pada puncak aktifitas *Squall Line* (28 Desember jam 18Z dan 29 Desember jam 00Z) dengan konsentrasi nilai tertinggi di sekitar Pulau Bangka.

Curah hujan dengan intensitas tinggi sebagai dampak yang ditimbulkan *Squall Line* ditelusuri melalui kondisi precipitable water (Vazquez & Schumacher, 2013) yang tersedia di atmosfer sekitar waktu kejadian *Squall Line*. Dari

Gambar ... di atas, maka dapat diketahui bahwa konsentrasi total precipitable water tertinggi berada di sekitar Kepulauan Bangka Belitung. Hal tersebut sesuai dengan hasil analisis *moisture transport* (Ding et al, 2007) yang memberikan informasi potensi curah hujan dengan intensitas tinggi di sekitar wilayah Bangka Belitung.

Analisis

Analisis medan angin di beberapa lapisan (850, 700, 500 mb) dilakukan mulai tanggal 28 jam 12 UTC (fase inisiasi), 28 jam 18 UTC (fase matang), dan 29 jam 00 UTC (fase punah). Peta yang berisi vektor angin dan *isotac* pada Gambar 4 memberikan gambaran terkait gangguan massa udara di sekitar waktu kejadian *Squall Line*.

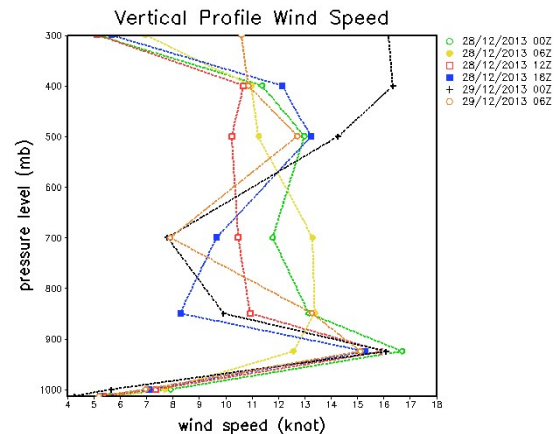


Gambar 4. Vektor angin dan isotac menggunakan data model GSM di lapisan 850, 700, dan 500 mb pada fase awal (28 Desember jam 12Z), fase matang (28 Desember jam 18Z), dan fase punah (29 Desember 00Z).

Pada lapisan 850 mb, dapat diketahui sumber massa udara yang melewati wilayah Kepulauan Bangka Belitung. Vector angin yang berasal dari arah utara dan barat, menunjukkan sumber massa udara yang menuju wilayah Sumatera umumnya berasal dari Laut Cina Selatan dan Samudera Hindia yang merupakan sumber uap air yang besar. Interaksi antara dua arus massa udara tersebut memberikan respon yang sangat jelas pada vector angin dan isotac antara fase inisiasi hingga punah. Hal yang paling signifikan adalah pada fase matang dimana vector angin memberikan pola shear (belokan) yang sangat jelas di atas Pulau Bangka hingga Belitung. Selain itu, kontur isotac yang sangat rapat pada kisaran 4 - 8 ms^{-1} membuktikan adanya

pemampatan massa udara yang maksimal pada tanggal 28 Desember jam 18 UTC sehingga kuat adanya indikasi terjadinya *low level convergence*.

Pola konvergen pada lapisan 700 mb juga terlihat jelas pada tanggal 28 Desember 2013 jam 18 UTC. Kondisi tersebut secara sekilas tidak berbeda dengan fase sebelum atau sesudahnya pada kisaran 5 ms^{-1} . Namun, angin di atas Pulau Bangka dan Belitung berhimpit dengan arah angin yang lurus menuju timur di Perairan Selatan Bangka hanya terjadi pada fase matang. Kondisi tersebut berarti potensi terjadinya pemampatan massa udara juga terfokus pada waktu itu. Sedangkan pada lapisan 500 mb, pola angin di atas Pulau Bangka dan Belitung cenderung kepada pola divergensi sejak tanggal 28 Desember jam 12 UTC hingga tanggal 29 Desember jam 00 UTC dengan kecepatan 7 ms^{-1} . Pola konvergensi di bawah dan divergensi pada lapisan memperkuat pengangkatan massa udara dalam proses awal pembentukan Cumulonimbus dan *Squall Line* (Bentley, 1997). Analisis yang dilakukan dengan melihat medan angin pada skala sinoptik memperlihatkan pola gangguan secara horizontal. Pola gangguan yang sudah diketahui diperjelas dengan menampilkan profil vertikal kecepatan angin untuk melihat pola kecepatan angin secara umum di lapisan bawah (*low level*), tengah (*mid level*), dan atas (*upper level*).

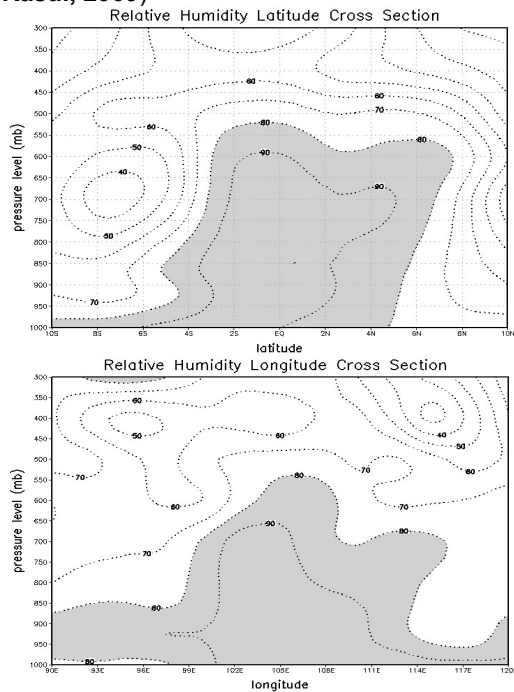


Gambar 5. Profil vertikal kecepatan angin sebelum, saat, dan setelah kejadian *Squall Line*.

Pada Gambar 5 jelas terlihat pola angin kencang di lapisan bawah (925 mb) yang terjadi sejak tanggal 28 hingga 29 Desember 2013 yang mempunyai pola sama dengan kondisi *low level jet*. Dalam pembentukan MCS *low level jet* berperan dalam transport kelembaban pada lapisan bawah (Remedio, 2013). Namun, yang perlu

dicermati adalah pada fase inisiasi (warna merah), matang (warna biru), dan punah (warna hitam). Kondisi kondisi kecepatan angin di lapisan bawah pada fase matang cenderung lebih rendah dibandingkan fase sebelum dan sesudahnya (Cohen et al, 1995).

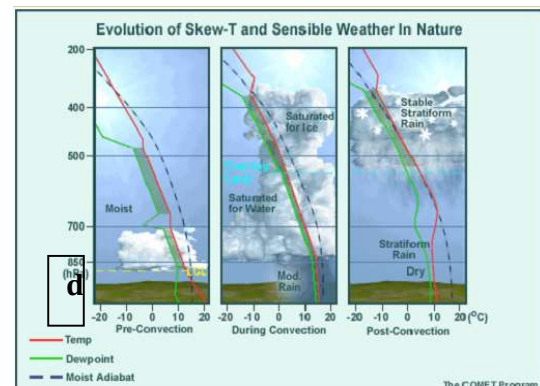
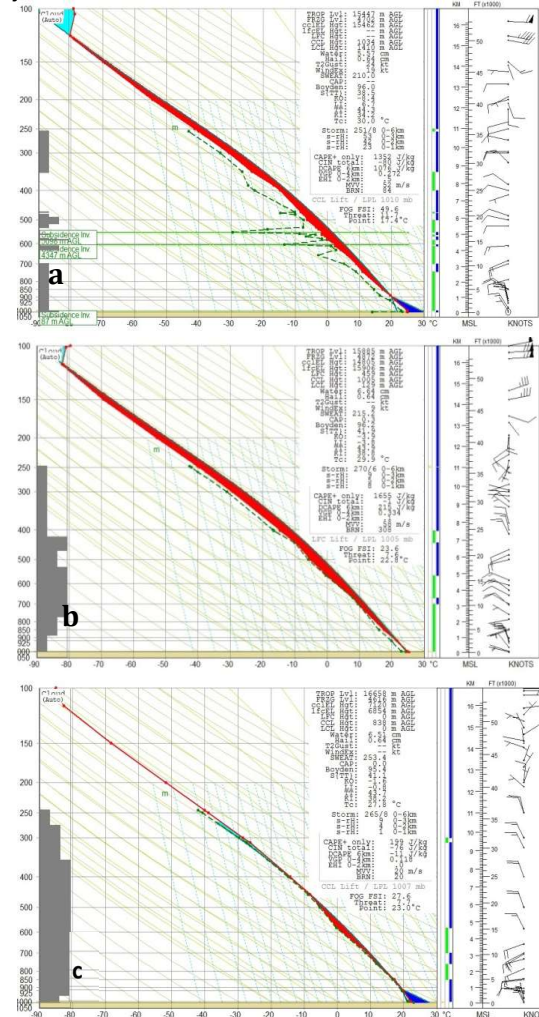
Kondisi kelembaban pada saat kejadian *Squall Line* juga memberikan informasi secara umum tentang kondisi atmosfer yang basah hingga lapisan 500 mb. Kelembaban yang tinggi terkonsentrasi antara lintang 4S – 4°N dan 102 – 111°E. Massa udara basah yang terkumpul di sekitar equator merupakan salah satu kondisi lingkungan yang mendukung dalam pertumbuhan awan. Kondisi tersebut berlaku pada fenomena *Squall Line* di Kepulauan Bangka Belitung dengan rentang lintang antara 1 - 4°S dan rentang bujur antara 105 - 109°E. Lapisan basah yang dilihat secara vertikal pada Gambar 6 menunjukkan kondisi yang mendukung untuk pertumbuhan awan secara massif yang dapat menghasilkan hujan lebat dalam durasi yang cukup lama (Zafar & Rasul, 2009)



Gambar 6. Profil vertikal kelembaban dari NCEP di wilayah tropis saat kejadian *Squall Line*.

Data sounding hasil pengamatan Stasiun Meteorologi Pangkalpinang berperan dalam menunjang hasil analisis khususnya terkait labilitas atmosfer yang terjadi di sekitar waktu kejadian. Gambar 7.a merupakan pengamatan sounding sebelum terjadinya *Squall Line* (28 Desember 2013 jam 00 UTC), Gambar 7.b merupakan hasil pengamatan sounding menjelang kejadian *Squall Line* (28 Desember 2013 jam 12 UTC), sedangkan

Gambar 7.c merupakan hasil pengamatan sounding setelah kejadian *Squall Line* atau fase punah *Squall Line* (29 Desember 2013 jam 00 UTC).



Gambar 7. Diagram sounding Stasiun Meteorologi Pangkalpinang pada fase awal (a), pertumbuhan (b), dan punah (c), serta fase-fase pertumbuhan awan berdasarkan profil diagram sounding (d) sebagai perbandingannya.

Hasil pengamatan radiosonde tanggal 28 Desember 2013 jam 00 UTC pada grafik Skew-T memberikan gambaran di sekitar waktu *pre-convection* dimana proses konveksi belum maksimal ditandai dengan adanya lapisan inversi (**Weaver & Ramanathan, 1997**) di antara lapisan 600 - 500 mb. Beberapa nilai indeks stabilitas di antaranya CAPE (Convective Available Potential Energy) 1352 Joule/kg, Lifted Index 6.7, K Index 34.2, Total Total 44.3, dan Shoawalter Index 0.1. Namun, nilai CAPE dan shear ($16 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$) menunjukkan potensi pertumbuhan supersel yang kuat (**Johns et al, 1990**).

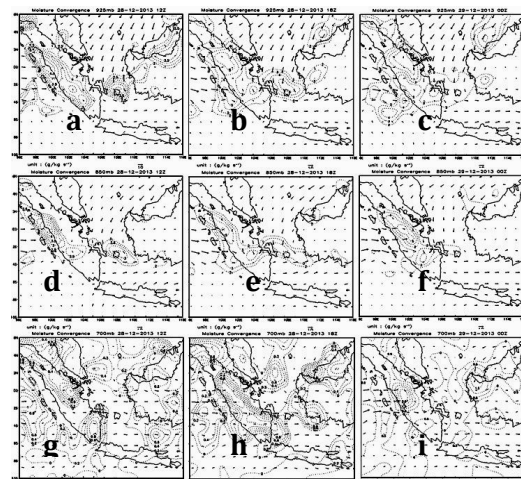
Hasil pengamatan radiosonde tanggal 28 Desember 2013 jam 12 UTC pada grafik Skew-T menunjukkan adanya puncak pembentukan awan (*during convection*). Berapa nilai indeks stabilitas di antaranya CAPE 1655 Joule/kg, Lifted Index -3.8, K Index 38.8, Total Total 43.93, dan Shoawalter Index -0.4 memberikan indikasi adanya penguatan proses konveksi dan pembentukan awan. Pertumbuhan awan juga semakin maksimal dengan potensi ketebalan awan sangat tinggi dan indikasi *anvil outflow* mulai pada lapisan 300 mb ke atas (**Bryan, 2012**). Asumsi ini dapat dilihat dengan memperhatikan juga adanya *Low Level Wind Shear* (LLWS) dan shear yang terjadi antara lapisan 500 - 400 mb (*mid level*) yang terkait dengan *Nocturnal Low-Level Jet* (**NOAA, 2010**). Hasil pengamatan sounding sebelum (*pre-convection*) dan menjelang terjadinya *Squall Line* pada kasus ini terjadi pada kondisi LLJ dengan moderate CAPE (**Roux et al. 1984; Roux 1985; Chong et al. 1987**).

Meskipun pada jam 00 UTC tanggal 29 Desember 2013 berdasarkan data citra satelit MTSAT dan satelit TRMM menunjukkan adanya proses kepunahan awan *Squall Line* dan penurunan intensitas curah hujan, namun hasil pengamatan sounding menunjukkan beberapa nilai indeks stabilitas di antaranya CAPE 199 Joule/kg, Lifted Index -0.8, K Index 38.2, Total Total 43.7, dan Shoawalter Index -0.7 mengindikasikan masih ada potensi pertumbuhan awan. Namun, arah angin yang konstan dari lapisan tengah hingga atas dan nilai CAPE yang jauh lebih kecil dibandingkan sebelumnya memberikan informasi bahwa pertumbuhan awan menurun dan proses yang tersisa adalah peluruhan atau hujan.

Salah satu parameter yang khusus digunakan dalam analisis kejadian MCS pada kasus ini adalah dengan analisis *moisture transport* dan *moisture convergence*. Vektor *moisture transport* dihitung dengan mengalikan vektor angin dengan mixing ratio (skalar). Besarnya vector dapat +diplot untuk

menunjukkan tinggi rendahnya moisture inflow di suatu wilayah. Selain berfungsi untuk melacak sumber massa udara yang berperan dalam pertumbuhan awan (**Knippertz et al, 2003**), besarnya vektor *moisture transport* dapat digunakan untuk mengetahui wilayah yang terdapat *low level jet* dan kelembaban yang tinggi (**Bentley, 1997**).

Moisture convergence mempunyai kaitan erat dengan kejadian hujan konvektif (**Geleyn & Piriou, 2005**). Nilai *moisture convergence* dipengaruhi oleh nilai *convergence* dari komponen angin sendiri. Analisis *moisture convergence* dimulai pada lapisan 925 mb (Gambar 8 a,b,c) terlihat konsentrasi *moisture convergence* tinggi tepat di atas Pulau Belitung dan perairan sekitarnya pada awal pertumbuhan *Squall Line* (28 Desember 2013 12UTC). Nilai *moisture convergence* pada puncak pertumbuhan *Squall Line* (28 Desember 2013 18UTC) semakin tinggi (mencapai $5 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$) dengan luasan hingga seluruh Kepulauan Bangka Belitung. Selain karena kelembaban atmosfer yang tinggi, nilai konvergensi juga paling besar pada waktu tersebut karena shear yang maksimal. Sedangkan pada akhir pertumbuhan (masa punah) *Squall Line*, konvergensi kelembaban di atas Kepulauan Bangka Belitung turun hingga $2 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ dengan pola yang semakin luas.

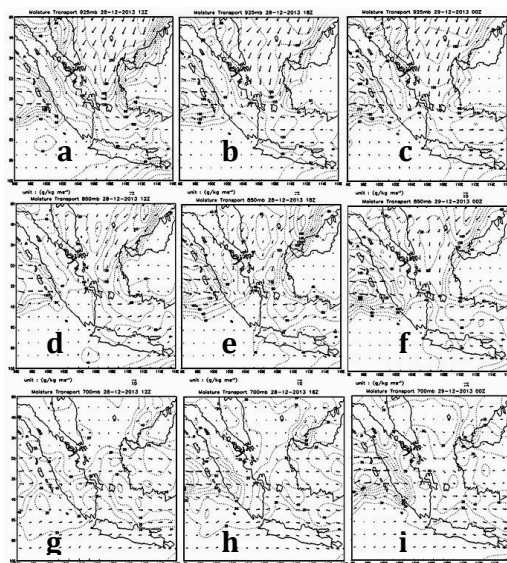


Gambar 8. Peta *moisture convergence* pada lapisan 925 mb (a,b,c), 850 mb (d,e,f), dan 700 mb (g,h,i). Fase awal kejadian *Squall Line* (a,d,g), fase matang (b,e,h), dan punah (c,f,i).

Pola perkembangan *moisture convergence* yang terjadi pada lapisan 850 mb (Gambar 8 d,e,f) hampir sama dengan lapisan 925 mb. Pola pada lapisan ini sedikit berbeda dengan lapisan di bawahnya. Pola konsentrasi dengan nilai tinggi terbentuk secara memanjang dari barat laut hingga tenggara

tepat menutupi seluruh Bangka Belitung (mencapai $4 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$). Pada fase penuh, konvergensi kelembaban mulai turun meskipun shear masih terjadi. Hal tersebut sangat mungkin terjadi jika nilai kelembaban turun ataupun nilai konvergensi yang turun. Perkembangan *moisture convergence* pada lapisan 700 mb (Gambar 8 g,h,i) dimulai pada fase pembentukan *Squall Line* dimana konsentrasi nilai positif terdapat di atas Pulau Bangka (mencapai $0.4 \text{ gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$). Pada puncak pertumbuhan, konsentrasi *moisture convergence* hanya terdapat pada Pulau Bangka bagian selatan dan Belitung. Sedangkan pada fase penuh, hampir tidak terjadi *moisture convergence* di atas Kepulauan Bangka Belitung.

Adanya konvergensi pada level bawah disertai dengan suplai kelembaban yang tinggi merupakan dua faktor utama pemicu kejadian cuaca buruk (Doswell, 1982). Pola *moisture convergence* yang ada di atas Kepulauan Bangka Belitung sangat rapat menjelang dan saat terjadinya *Squall Line*. Pola kerapatan tersebut sama seperti analisis kejadian *Squall Line* yang pernah dilakukan oleh Alfonso dan Naranjo (1995).



Gambar 9. Peta *moisture transport* pada lapisan 925 mb (a,b,c), 850 mb (d,e,f), dan 700 mb (g,h,i). Fase awal kejadian *Squall Line* (a,d,g), fase matang (b,e,h), dan penuh (c,f,i).

Pada lapisan 925 mb (Gambar 9 a,b,c) tanggal 28 Desember jam 12 UTC, teridentifikasi sumber massa di Kepulauan Bangka Belitung berasal dari Laut Cina Selatan. Pada fase awal pertumbuhan *Squall Line* ini, kecepatan angin yang tinggi berasal dari utara yang merupakan LLJ. Kelembaban

yang cukup tinggi di wilayah Laut Cina Selatan hingga perairan utara Pulau Bangka dan adanya shear yang tepat di atas Kepulauan Bangka Belitung membentuk gradien *moisture transport* yang rapat dengan konsentrasi nilai yang lebih tinggi dibandingkan daratan Sumatera. Kondisi ini sangat membantu untuk pertumbuhan MCS (Junker & Schneider, 1997). Pada fase puncak hingga fase penuh (28 Desember jam 18 UTC - 29 Desember jam 00 UTC), massa udara di sekitar Bangka Belitung masih didominasi dari arah utara dengan *moisture transport* mencapai 120 g/kg ms^{-1} . Pada lapisan 850 mb (Gambar 9 d,e,f) terlihat jelas perambatan kelembaban melalui pola *moisture transport* dari arah utara. Hal tersebut dapat dilihat mulai dari fase pembentukan hingga puncak dimana pola gradien yang semakin rapat dengan konsentrasi nilai *moisture transport* yang tinggi bergerak ke selatan. Meskipun nilai *moisture transport* pada fase penuh tidak jauh berbeda dengan fase sebelumnya, namun pola di perairan sekitar Kepulauan Bangka Belitung menurun secara signifikan. Hal tersebut menunjukkan suplai uap air yang semakin berkurang juga. Pada lapisan 700 mb (Gambar 9 g,h,i), sumber massa udara teridentifikasi berasal dari SAMudera Hindia. Meskipun kisaran nilai di atas Kepulauan Bangka Belitung pada fase tumbuh hingga penuh hampir sama (30 g/kg ms^{-1}), namun pola transport pada fase puncak pertumbuhan *Squall Line* sangat terlihat. Pola

Kesimpulan

Pada kasus kejadian *Mesoscale Convective System* dalam bentuk *Squall Line* di Kepulauan Bangka Belitung dianalisis sejak fase awal pembentukan hingga fase penuh. Pembentukan awan konvektif dan stratiform dalam skala yang luas dan massa hidup yang lama teridentifikasi dari beberapa parameter khususnya kondisi angin, kelembaban, dan labilitas udara. Pada peta medan angin yang menunjukkan adanya *windshear*, *Low level jet*, serta konvergensi khususnya pada lapisan bawah. Lapisan basah dengan ketebalan yang tinggi hingga lapisan tengah di sekitar Kepulauan Bangka Belitung juga menjadikan *moisture transport* dan *moisture convergence* terkonsentrasi di wilayah tersebut sehingga berdampak pada pertumbuhan awan yang kontinu. Indeks stabilitas khususnya nilai CAPE sebelum dan menjelang terjadinya *Squall Line* menunjukkan nilai yang lazim pada proses kejadian MCS khususnya di wilayah tropis.

Daftar Pustaka

- Akter, F., & Ishikawa, H. 2013. Influence of Dry-line on the Formation of Severe Local Convective Storms of Bangladesh: A Case Study. *Annals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, No. 56 B.
- Alfonso, A. P., & Naranjo, A.R. 1996. The 13 March 1993 Severe *Squall Line* over Western Cuba. *American Meteorological Society*. March. Vol 11. 89-102
- BMKG. 2010. Peraturan Kepala Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Nomor: KEP.009 Tahun 2010 tentang Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan, dan desiminasi Informasi Cuaca Ekstrem. BMKG. Jakarta.
- Bentley, M. L. 1997. Synoptic Conditions Favorable For The Formation Of The 15 July 1995 Southeastern Canada/Northeastern U.S. Derecho event. *National Weather Digest*. Vol. 21. No. 2. 31-39.
- Berkes, F., Knippertz, P., Parker, D. J., Jeans, G., & Quiniou-Ramus, V. 2012. Convective Squalls Over The Eastern Equatorial Atlantic. *Weather and Forecasting*, 27 (3). 770 - 783. ISSN 0882-8156
- Bian, X., Zhong, S., Whiteman, C.D., & Stage, S.A. 1992. Analytical Study of the Effects of the Low-Level Jet on *Moisture convergence* and Vertical Motion Fields at the Southern Great Plains Cloud and Radiation Testbed Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington.
- Bryan, G. H., & Parker, M. D. 2010. Observations of a *Squall Line* and Its Near Environment Using High-Frequency Rawinsonde Launches during VORTEX2. *Monthly Weather Review*. Vol. 138. 4076-4097.
- Centrone, J., & Houze, R. A. 2009. Anvil Clouds Of Tropical *Mesoscale Convective Systems* In Monsoon Regions. *Q. J. R. Meteorology Society*. Vol. 135. 305 – 317.
- Chen, S. S., R. A. Houze Jr., & B. E. Mapes. 1996. Multiscale Variability Of Deep Convection In Relation To Large-Scale Circulation in TOGA COARE, *J. Atmos. Sci.*, 53, 1380–1409, doi:10.1175/1520-0469(1996)053<1380:MVODCI>2.0.CO; 2.
- Choi, H. Y., Ha, J. H., Lee, D. K., & Kuo, Y. H. 2011. Analysis and Simulation of *Mesoscale Convective Systems* Accompanying Heavy Rainfall: The Goyang Case Asia-Pacific. *Journal of Atmospheric Science*. Vol. 47. No. 3. 265-279.
- Chong, M., Amayenc, P., Scialom, G., & Testud, J. 1987. A Tropical *Squall Line* Observed During The COPT 81 Experiment in West Africa. Part 1: Kinematic Structure Inferred From Dual-Doppler Radar Data. *Monthly Weather Review*. Vol. 115. 670–694
- Churchill, D. D., & R. A. Houze Jr. 1984. Development and structure of winter monsoon cloud clusters on 10 December 1978. *Journal of Atmospheric Science*. Vol. 41. 933 – 960.
- Cohen, J. C., Silva Dias, M. A. F., & Nobre, C. A. 1995. Environmental Conditions Associated with Amazonian *Squall Lines*: A Case Study. *Monthly Weather Review*. Vol. 123. 3163-3174.
- Ding, J., Yang, Y., Ye, Q., & Huang, Y. 2007. Moisture Analysis of a *Squall Line* Case Based on Precipitable Water Vapor Data from a Ground-Based GPS Network in the Yangtze River Delta. *Advances In Atmospheric Sciences*. Vol. 24. No. 3. 409 – 420.
- Doswell, C. A., Brooks, H. E., & Maddox, R. A. 1996. Flash Flood Forecasting: An Ingredients-Based Methodology. *Weather and Forecasting*. Vol. 11. 560-581.
- Doswell, C. A., III, 1982: The operational meteorology of convective weather. Volume I: Operational mesoanalysis. NOAA Tech.Memo. NWS NSSFC-5, 159 pp.
- Druyan, L. M., & Matthew, F. 2012. The Open Atmospheric Science Journal. Vol. 6. 1-8
- Fiolleau, T., & Roca, R. 2013. An Algorithm for the Detection and Tracking of Tropical *Mesoscale Convective Systems* Using Infrared Images From Geostationary Satellite. *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*.
- Fujita, T. T. 1955. Result of Detailed Synoptic Studies of *Squall Line*. *Tellus*, 7, 405-436.

- Geleyn, J.F., & Piriou, J.M. Why Do *Moisture convergence* Deep Convection Schemes Work For More Scales Than Those They Were In Principle Designed For? http://www.rclace.eu/File/ALARO/workshop/HIRLAM_ALADIN/jfg_ea.pdf. Proceedings of HIRLAM/NetFAM Workshop on Convection and Clouds. Tartu, Estonia, 24-26.1.2005
- Houze, R. A., Jr. 2004. *Mesoscale Convective System*. Reviews Of Geophysics. Vol. 42.
- Houze, R. A., Jr. 1993. Cloud Dynamics, 573 pp., Academic, San Diego, Calif.
- Houze, R. A. Jr., & Biggerstaff, M. I. 1991. Kinematic and Precipitation Structure of The 10-11 June 1985 *Squall Line*. Monthly weather Review. December. Vol. 119.3034-3065.
- Houze, R. A., Jr., Smull, B. F., & Dodge, P. 1990. Mesoscale Organization Of Springtime Rainstorms In Oklahoma. Monthly Weather Review. Vol. 118. 613 – 654.
- Houze, R. A. 1982. Cloud Clusters And Large-Scale Vertical Motions In The Tropics. Journal of Meteorology Society. Japan. Vol. 60. No. 1. 396–410.
- Houze, R. A. Jr., Geotis, S. G., Marks, F. D. Jr., & West, A. K. 1981. Winter Monsoon Convection In The Vicinity Of North Borneo. Part I: Structure And Time Variation Of The Clouds And Precipitation. Monthly Weather Review. Vol. 109. 1595-1614.
- Jiang, J. X., & Fan, M., 2002. Convective Clouds and Mesoscale System Over The Tibetan Plateau in Summer. Journal of Atmospheric Sciencis (in Chinese). Vol. 26. No.2. Pp 263-270.
- Johns, R. H., Howard, K.W., & Maddox, R. A. 1990. Conditions Associated With Long-Lived Derechos-An Examination Of The Large-Scale Environment. Preprints: 16th Con! Severe Local Storms, Kananaskis Park, Alberta, Amer. Meteor. Soc., 408-412.
- Jorgensen, D. P., Lemone, M. A., & Trier, S. B. Structure and Evolution of the 22 February 1993 TOGA COARE *Squall Line*: Aircraft Observations of Precipitation, Circulation, and Surface Energy Fluxes August 1997. Journal of The Atmospheric Sciences. Vol. 54. 1961-1985
- Junker, N. W., & Schneider, R. S., 1997. Two Case Of Quasi-Stationary Convection During The 1993 Great Midwest Flood. National Weather Digest. Vol. 21. No. 2 .March, 1997. 5-17.
- Kessinger, C. J., Ray, P. S., & Hane, C. E. 1986. The Oklahoma *Squall Line* of 19 May 1977. Part I: A Multiple Doppler Analysis of Convective and Stratiform Structure. Journal of The Atmospheric Sciences. October. Vol 44. No. 19. 2840-2864.
- Kharin, V. V., & Zwiers, F. W. 2005. Estimating Extremes In Transient Climate Change Simulations. Journal of Climatology. Vol 18. 1156–1173.
- Knippertz, P., Fink, A.H, Reiner, A., & Speth, P. 2003. Three Late Summer/Early Autumn Cases of Tropical–Extratropical Interactions Causing Precipitation in Northwest Africa. Monthly Weather Review. January. Vol. 131. 116-135.
- Lau, K. M., & Wu, H. T. 2011. Climatology And Changes In Tropical Oceanic Rainfall Characteristics Inferred From Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) data (1998–2009). Journal of Geophysics. Res., 116, D17111, 10pp., doi:10.1029/2011JD015827.
- Lin, Y. L. 2007. Mesoscale Dynamics, Cambridge Univ. Press, New York. ISBN 9780521808750.
- Maddox, R. A. 1980. Mesoscale convective complexes, Bull. Am. Meteorol. Soc., 61, 1374 – 1387
- Mapes, B.E., & R.A. Houze, Jr. 1992. An Integrated View Of The 1987 Australian Monsoon And Its *Mesoscale Convective Systems*. Part I: Horizontal structure. Q. J. Roy. Meteor. Soc., **118**, 927-963.
- Mathon, V., & Laurent, H. 2001. Life Cycle Of Sahelian Mesoscale Convective Cloud Systems. Q. J. R. Meteorology Society. Vol. 127. No. 572. 377–406.
- Mohd Nor, M. D., & Rakhecha, P.R. 2008. Analysis of Severe Tropical Urban Storm in Kuala Lumpur, Malaysia. 11th International Conference on Urban Drainage. Edinburgh. Scotland. UK.
- Mohr, K., & Thorncroft, C. 2006. Intense Convective Systems In West Africa and Their Relationship With The African Easterly Jet. Q.J.R. Meteorology Society. Vol. 132. Page. 163-176.
- Oshawa, T., Ueda, H., Hayashi, T., Watanabe, A., & Matsumoto, J. 2001. Diurnal Variations Of Convective Activity and Rainfall In Tropical Asia. J. Meteorology Society Japan. Vol 79. Pp 333-352.

- O'Gorman, P.A., & Schneider, T. 2009. The Physical Basis For Increases In Precipitation Extremes In Simulations Of 21st-Century Climate Change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*. Vol. 106. No. 35.
- Pettegrew, B.P., Market, P.S., Wolf, R.A., Holle, R.L., & Demetriades, N.W.S. 2009. A Case Study of Severe Winter Convection in the Midwest. *Weather and Forecasting*. Amreican Meteorological Society. Vol. 124. 121-139
- Qi, L., & Chen, Y. 2004. An Analysis Of A *Squall Line* In The Yangtze River Area. *Journal of Applied Meteorological Science*. Vol. 15. No. 2. 162-173.
- Reale, O., Lau, K. M., Susskind, J., & Rosenberg, R. 2012. AIRS Impact On Analysis And Forecast Of An Extreme Rainfall Event (Indus River Valley, Pakistan, 2010) With A Global Data Assimilation And Forecast System. *Journal of Geophysics. Res.*, 117, D08103, doi:10.1029/2011JD017093.
- Redelsperger, J. L. 1997. The Mesoscale Organization Of Deep Convection. The Physics And Parameterization Of Moist Atmospheric Convection. R. K. Smith, Ed., NATO ASI Series Volume, Vol. 505, Springer, 59–98.
- Remedio, A. R. C. 2013. Connections Of *Low level jets* And *Mesoscale Convective Systems* In South America. Reports on Earth System Science, International Max Plank Research School On Earth System Modelling, Hamburg, 2013, No. 141 ISSN 1614-1199
- Ross, B. B., Monthly Weather Review. Vol. 115. October 1987. 2298-2321
- Roux, F. 1985. Retrieval Of Thermodynamic Fields From Multipledoppler Radar Data Using The Equations Of Motion And The Thermodynamic Equation. *Monthly Weather Review*. 113, 2142–2157.
- Roux, F., Testud, J., Payen, M., & Pinty, B. 1984. West African Squallline Thermodynamic Structure Retrieved From Dual-Doppler Radar Observations. *Journal of Atmos. Sci.* Vol. 41. 3104–3121
- Shou, S. 2002. Synoptic Meteorological Analysis 1. China Meteorological Press, Beijing, 168-169.
- Silva Dias, M. A. F., & Ferreira, R. N. 1992. Application Of A Linear Spectral Model To The Study Of Amazonian *Squall Lines* During GTE/ABLE 2B. *Journal of Geophysics. Res.* 97, 405 – 419.
- Smith, E. A., & Mehta, A. V. 1990. The Role Of Organized Tropical Storms And Cyclones On Intraseasonal Oscillations In The Asian Monsoon Domain Based On INSAT Satellite Measurements. *Meteorol. Atmos. Phys.* Vol. 44. No. 1–4. 195–218.
- Vazquez, H., & Schumacher, R.S. 2013. Variability of Heavy Precipitation by Long-Lived Mesoscale Convective Vortices Found in the Southern Plains.. January 05 - 10, 2013, Austin, TX, AMS meeting .
- Wang, J., Pan, Y., & Wang, S. 2013. A Numerical Study of the Evolution of a Mesoscale Convective Vortex on the Meiyu Front. *Acta Meteorologica Sinica*. Vol. 27. No. 6. 889-909.
- Weaver CP, Ramanathan V. 1997. Relationship Between Large-Scale Vertical Velocity, Static Stability, And Cloud Radiative Forcing Over Northern Hemisphere Extratropical Oceans. *Journal of Climate* 10:2871-2887.
- Yi, L., & Lim, H. 2006. Advance In Vol 9. Solid Earth (SE), Ocean Science (OS), and Atmospheric Science (AS). World Scientific Co. Pte, Ltd, Singapore.
- Zafar, Q., & Rasul, G. 2009. Diagnosis and Numerical Simulation of a Heavy Rainfall Event in Winter over Upper Parts of Pakistan. *Pakistan Journal of Meteorology*. Vol 5. Issue. 10. 81-96.
- Zhang, P., Du, B., & Dai, T. 2001. Radar Meteorology. China Meteorological Press, Beijing, 234-238.
- http://www.crh.noaa.gov/Image/Imk/Brian%20S/Wind_shear_final.pdf29-Jul-2010 21:32