

Changes of birds behavior in response to magnetic fields anomaly before the earthquake: a review

Muhyiatul Fadilah^{1,3*}, Riandi¹, Anna Permanasari¹, Enok Maryani²

¹Program Studi Pendidikan IPA, Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

²Program Studi Pendidikan Geografi, Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

³Program Studi Pendidikan Biologi, Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Padang, Padang

*e-mail: muhyifadilah@upi.edu

Abstract. Animal behavior is a response to external environmental conditions through detection by certain senses. Changes in physical factors in the environment before the earthquake (magnetic field anomaly) also influence the expression of specific behavioral changes in birds, namely the flight activity. However, scientific explanation of changes in orientation or direction of flight before the earthquake was not yet available. This article aims to describe the mechanism of bird's biological response to changes in the magnetic field before the earthquake. This study is a literature review. The results of theoretical synthesis explain that birds use magnetic receptors and light receptors that recognize changes in the magnetic field before the earthquake followed by an increase in the amount of intracellular calcium ions. Abnormal amounts of calcium stimulate the formation of more ATP which activates the function of actin and myosin, therefore muscle cells experience a bathmotrope effect expressed in the form of changes in flight direction.

Keywords: *animal behaviour, earthquake, magnetic field anomaly, calcium, bird flight*



This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2020 by author.

1. PENDAHULUAN

Perilaku pada hewan merupakan respon sensitivitas terhadap lingkungan, selain disebabkan oleh perilaku bawaan (*innate behavior*). Barnard (2004) menyatakan perilaku pada hakekatnya adalah *total range of activities* dan melibatkan aktivitas yang dapat dideteksi (*observable*) dan yang sukar dideteksi (*non-observable*). Ekspresi perilaku hewan bersifat kompleks dan menakjubkan dan merupakan bagian dari upaya kelangsungan hidup hewan tersebut melalui mekanisme adaptasi. Kondisi atau perubahan lingkungan merupakan stimulus eksternal yang diproses secara kompleks dalam proses fisiologis dan biokimia tubuh hewan dan ditampilkan dalam bentuk respons khusus. Dengan demikian, perilaku hewan merupakan representasi kondisi lingkungan terdekat perilaku.

Burung (aves) adalah kelompok hewan bertulang belakang (vertebrata) yang unik, karena sebagian besar aves merupakan binatang yang beradaptasi dengan kehidupan secara sempurna. Burung merupakan salah satu populasi hewan yang menampilkan dua perilaku spesifik yang tidak dimiliki oleh hewan lainnya, yaitu perilaku terbang, dan perilaku berkicau. Kajian perilaku Burung selama ini didasarkan atas sejumlah alasan antara lain penangkaran demi mempertahankan nilai ekonomi seperti Burung Beo Alor (*Gracula religiosa mertensi* Rensch) (Takandjandji & Mite, 2016) dan untuk pelestarian/konservasi satwa liar seperti Burung Elang (Genus *Spizaetus*) (Sawitri, & Takandjandji, 2010). Parameter perilaku Burung yang diteliti antara lain kualitas kicauan yang dapat diperlombakan (Saputro, Nova, & Kurtini, 2016), keindahan fisik seperti Burung Kakak Tua (*Cacatua sulphurea sulphurea*) (Gitta, Masy'ud, & Suzanna, 2012).

Hasil survey secara daring dengan kata kunci “perilaku Burung” dan “perilaku terbang” pada web *Google Scholar* menunjukkan sejak 2010 hingga sekarang konsentrasi kajian pada Burung adalah tiga perilaku utama yaitu perilaku diam, bergerak dan makan (*ingestive*) seperti yang dilakukan oleh Putra, Watiniasih, & Nuyana, (2014). Selain itu, sejumlah peneliti mengkaji tentang habitat, kepadatan, distribusi (Sawitri, Mukhtar, & Iskandar, 2010; Ciptono, & Handziko, 2017; Lala, Wagiman, & Putra, 2013; Sawitri & Iskandar 2012 dan Kadri, Septinova, & Riyanti, 2016). Kajian studi Burung yang mengarah pada kesehatan atau keselamatan manusia juga pernah dilakukan oleh Bahtiar, Susanti, & Rahayuningsih (2014), namun tidak menjadi kajian utama.

Kajian tentang peran perilaku Burung dalam bencana di Indonesia umumnya masih berada dalam kategori mitos atau pseudosains. Dengan kata lain, studi bidang ini belum didukung oleh eksplanasi ilmiah yang memadai. Hasil penelitian internasional menginformasikan adanya hubungan dan peran hewan dengan bencana yang ditunjukkan melalui perubahan perilaku hewan sebelum gempa bumi seperti Burung, Anjing dan Kucing (Grant, Raulin, & Freund, 2015; Yamauchi et al., 2014; Cao, & Huang, 2018). Bahkan, penelitian sampai dilakukan pada tingkat laboratorium telah dilakukan untuk membuktikan pengaruh faktor fisika kimia dalam lingkungan sebelum gempa bumi terhadap perubahan perilaku hewan, seperti yang dilakukan oleh Liu et al., (2014). Tim peneliti tersebut menemukan indeks resistensi ketakutan Mencit terhadap gempa bumi.

Fakta anekdotal dan penelitian di bidang ilmu sosial telah lama mengangkat hubungan perilaku hewan untuk keselamatan manusia dalam bencana. Sebagian besar fenomena perilaku hewan telah digunakan sebagai penanda bencana dan pedoman evakuasi. Setyawati, Pramono, & Ashari (2015) menemukan istilah semiotika faunal untuk perilaku hewan dalam mitigasi bencana merupakan bagian kecerdasan tradisional yang relatif tidak dikuasai dengan baik oleh para generasi muda. Sejauh penelusuran peneliti, belum ada kajian

literatur memuat ekplanasi ilmiah perilaku Burung terhadap keselamatan manusia dalam konsep mitigasi bencana, terutama gempa bumi. Pentingnya kajian ini dilatar belakangi oleh karakteristik Indonesia sebagai negara rawan gempa bumi yang memerlukan pengayaan pengetahuan pendukung kesiapsiagaan menghadapi bencana gempa bumi.

Getaran yang dirasakan di permukaan saat gempa bumi didahului oleh sejumlah perubahan fisika kimia, salah satunya adalah perubahan medan magnet (Wahyudi, 2011). Perubahan fisika di alam merupakan stimulus yang dideteksi oleh reseptor pada Burung. Artikel ini bertujuan untuk memaparkan fisiologi perubahan perilaku Burung sebagai respons anomali fisika bumi (medan magnet dan gravitasi) sebelum gempa bumi.

2. Asumsi

2.1. Medan magnet bumi mengalami anomali sebelum gempa bumi

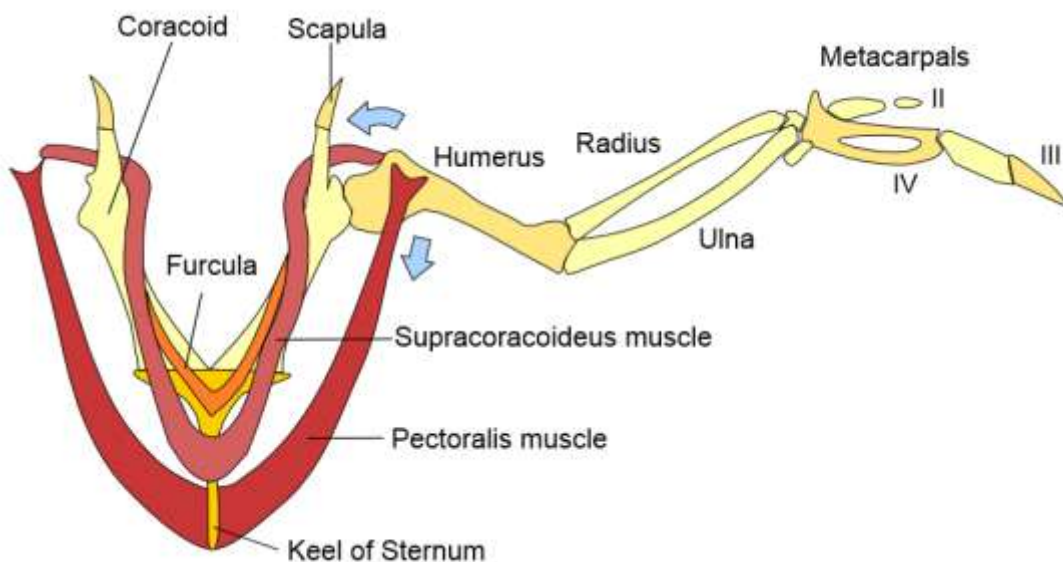
Bumi adalah sebuah magnet raksasa dengan sebuah kutub magnet utara dan sebuah kutub magnet selatan. Sumber medan magnet diduga berasal dari inti yang sebagian besar terdiri dari Besi dan Nikel. Medan magnet bumi termasuk medan magnet induksi karena kemagnetan bumi (*geomagnetisme*) terjadi karena ada arus listrik dalam inti bumi (karena keadaan cair dan mudah bergerak), yang menghasilkan medan magnet seperti dalam elektromagnet (Bayong, 2016).

Ketidakteraturan distribusi material magnetis di bumi bagian luar menyebabkan anomali medan magnet yang dipengaruhi oleh aktivitas tektonik akibat akumulasi tekanan (stress) pada lapisan batuan. Stress atau tekanan yang dialami oleh batuan menghasilkan arus listrik yang berkorelasi dengan munculnya medan magnetik. Dengan demikian, anomali medan magnet dapat terjadi saat pergerakan lempeng sebelum getaran gempa bumi dirasakan di permukaan. Anomali medan magnet terukur sebagai nilai variasi medan magnet di permukaan yang berasal dari medan magnet induksi dan medan magnet remanen. Medan magnet ini ikut mempengaruhi besar total medan geomagnetik (Freund, 2007). Karena medan magnet merupakan besaran vector (memiliki arah), maka anomali atau perubahan medan magnet sebelum gempa bumi mengakibatkan perubahan arah medan.

Merujuk pada hipotesa Maxwell, fenomena kelistrikan dan kemagnetan saling berhubungan. Anomali medan magnet berasosiasi dengan perubahan konduktivitas udara yang disebabkan oleh ionisasi atmosfer. Injeksi ion-ion ke atmosfer yang merubah konduktivitas udara menyebabkan peningkatan medan listrik di atmosfer. Perubahan medan listrik menimbulkan medan magnet, sebaliknya perubahan medan magnet dapat menimbulkan medan listrik, Energi dari kedua fenomena ini dipancarkan melalui perambatan gelombang elektromagnetik, sehingga anomali medan magnet juga diindikasikan oleh anomali gelombang elektromagnetik.

2. 2. Mekanisme terbang pada Burung melibatkan system anatomi kompleks

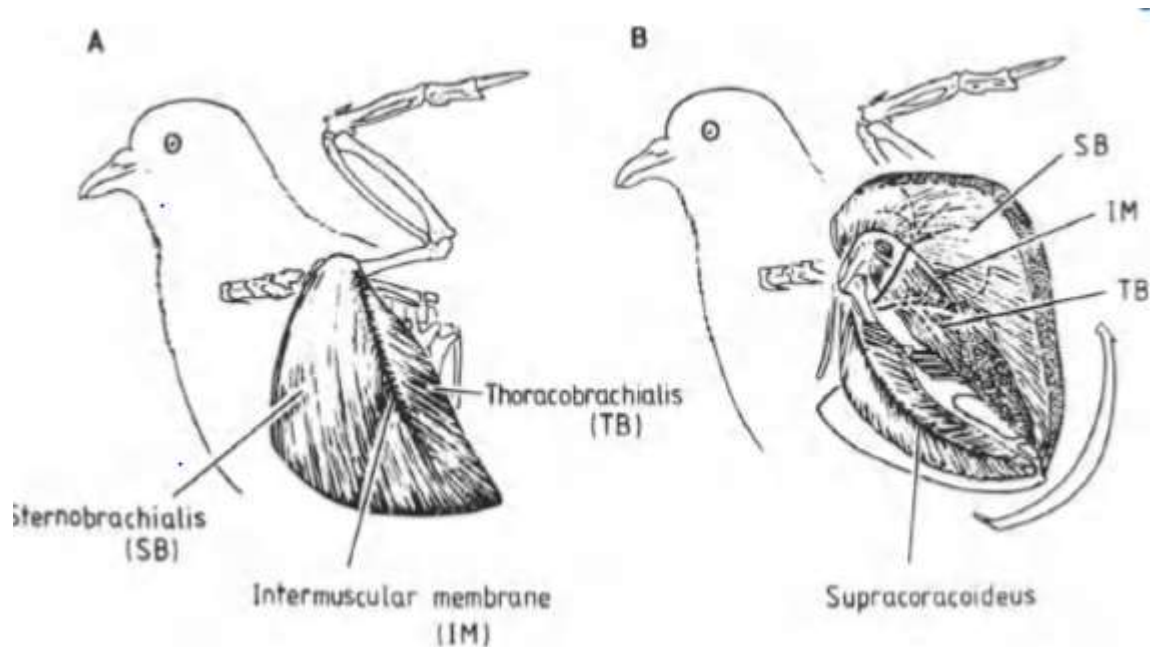
Aktivitas terbang pada Burung merupakan proses kompleks yang melibatkan sistem pernapasan, sistem kardiovaskular, dan metabolisme sel. Sistem ini berkoordinasi secara internal dalam metabolisme otot. Ratusan otot dan ligamen berperan penting dalam menentukan jarak penerbangan seperti yang disajikan pada Gambar 1. Dua otot yang memiliki peran kunci adalah otot *pectoralis* (*pectoralis major*) dan *supracoracoideus* (*pectoralis minor*) karena berfungsi membentuk pusat gravitasi yang menstabilkan burung di udara. Dari sekitar 50% Pengamatan, otot *supracoracoideus* aktif pada saat yang sama dengan *pectoralis* Dial *et al.* (1988). Otot *pectoralis* merupakan otot depressor dan berkaitan dengan gerakan menurunkan sayap saat terbang. *Pectoralis* dapat mencapai 35% dari total massa tubuh (Greenewalt, 1962). Otot *pectoralis minor* berperan dalam mengangkat sayap pada saat burung sedang terbang (Sukiya, 2005).



Gambar 1. Struktur penyusun gerak terbang pada Burung (Sumber: <http://creativecommons.org/>)

Pectoralis disusun oleh *pars thoracalis* dan dapat dibagi menjadi dua, yaitu *sternobrachialis* (SB) dan *thoracobrachialis* (TB). SB dan TB memiliki asal, insersi, orientasi serat dan fungsi yang berbeda serta dipersarafi oleh cabang yang berbeda dari *plexus brachialis* (Dial *et al.*, 1988) seperti ditampilkan pada Gambar 2. Kedua otot ini terlibat dalam depresi humerus, perbedaannya, SB membantu dalam penipisan (protraksi), sedangkan TB membantu dalam menarik kembali (retraksi) humerus. TB sangat aktif selama pendaratan dan melayang, sedangkan SB berperan selama semua mode penerbangan. Selain dua otot tersebut, terdapat juga otot lain yang juga berhubungan dengan siklus hentakan-sayap.

misalnya *deltoideus major*, yang aktif selama pengangkatan sayap pada Angsa Kanada, *Branta canadensis* (Weinstein *et al.* 1984).



Gambar 2. Anatomi otot *pectoralis* merpati. (Sumber: Dial *et al.* 1987)

Gambar 2A menampilkan pandangan lateral *pars thoracicus* untuk menunjukkan pembelahannya oleh *intermuscular membrane* (IM) ke dalam *sternobrachialis* (SB) dan kepala *thoracobrachialis* (TB). Gambar 2B merupakan pandangan *pectoralis* dalam dengan *pars thoracicus* dibelokkan untuk menunjukkan persarafan daerah SB dan TB oleh cabang yang berbeda dari *plexus brachialis*. Saraf anterior mempersarafi SB dan saraf posterior mempersarafi TB.

2. 3. Mekanisme terbang pada Burung mempedomani sinyal-sinyal medan magnet di lingkungan

Aktivitas terbang pada burung mempedomani matahari dan medan magnet sebagai kompas. Kompas magnetik, dimana medan magnet berfungsi sebagai penunjuk arah, juga digunakan oleh beberapa jenis burung, terutama yang melakukan terbang harian atau terbang musiman yang jauh. Kompas magnetik digunakan sebagai penunjuk arah terbang. Wiltschko & Wiltschko (1996) membuktikan penggunaan kompas magnetik telah ditunjukkan pada 18 spesies burung yang bermigrasi. Informasi magnetik berfungsi sebagai peta magnetik. Burung dapat terbang di permukaan bumi karena medan magnet bumi adalah sumber informasi yang selalu ada dimana-mana dan dapat diandalkan.

Pembuktian medan magnet teradap arah orientasi Burung telah pernah dilakukan Wiltschko (1978). Dalam percobaan tersebut, peneliti mengkondisikan magnet utara diputar oleh sistem kumparan. Intensitas dan kemiringan total lapangan hampir tidak berubah dan semua petunjuk arah potensial lainnya tetap sama. Hasil penelitian menunjukkan burung-burung mengubah preferensi arah mereka sesuai dengan perubahan utara magnetik. Perilaku ini menunjukkan bahwa mereka menggunakan medan magnet untuk menemukan arah. Pada semua spesies yang diteliti, kompas magnetik berfungsi sebagai 'kompas kecenderungan', dimana burung memperoleh informasi arah dari kecenderungan garis-garis medan. Dengan demikian, burung dapat membedakan antara daerah kutub dan ekuator serta arah utara dan selatan. Arah garis medan magnet dapat memberikan arah referensi untuk kompas magnetik. Perubahan intensitas dan/atau sudut kemiringan dapat memberikan informasi posisi dalam bentuk 'papan rambu-rambu' magnetik atau peta magnet.

3. Pembahasan

3. 1. Reseptor yang terlibat dalam perubahan orientasi medan magnet

Burung memiliki dua reseptor yang terlibat dalam perubahan orientasi gerak terbang terkait medan magnet, yaitu magnetoreseptor dan fotoreseptor.

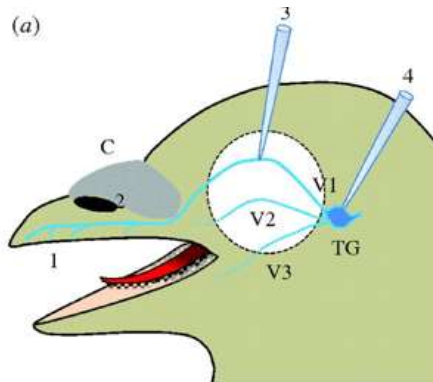
3.1.1. Magnetit

Magnetit merupakan mineral yang memiliki sifat magnet kuat, dengan rumus Fe_3O_4 . Di alam, magnetit berbentuk kristal. Pada Burung, detektor magnet pada satu magnetit terletak dekat paruh (Mouritsen & Ritz, 2005), bagian kepala pada Burung. Magnetit bersusun sejajar terhadap medan geomagnetik. Partikel magnetit pada burung merupakan domain tunggal, sehingga perubahan orientasi struktur magnetit dalam proses menerima stimulus magnet (magnetisasi) yang terjadi dalam waktu singkat dapat menyebabkan perubahan yang signifikan dan jelas dalam perilaku orientasi arah terbang burung. Magnetosensasi pada Burung merupakan sistem trigeminal, yang memiliki tiga cabang syaraf, seperti ditampilkan pada Gambar 3.

3.1.2. Reseptor cahaya

Unit pendeteksi magnet yang kedua adalah reseptor cahaya. Burung yang melakukan terbang migrasi pada malam hari membutuhkan ketersediaan cahaya panjang gelombang tertentu selain informasi medan magnet. Reseptor cahaya menentukan penerimaan informasi dari fotopigmen. Burung memiliki dua macam fotopigmen yaitu Opsin dan Klorofil atau flavin. Opsin merupakan salah satu fotopigmen yang dapat mengalami perubahan konformasional jika menyerap cahaya (Halford, *et al.*, 2009). Opsin terdapat pada retina. Fotopigmen seperti klorofil atau flavin menggunakan energi untuk mentransfer elektron kepada molekul terdekat, sehingga menghasilkan sepasang molekul dengan elektron yang tak berpasangan, disebut

pasangan radikal. Radikal adalah molekul yang paling reaktif dan kemunculannya mempercepat langkah reaksi dan produk berikutnya. Dalam kondisi tertentu, medan magnet dapat mempengaruhi kecepatan atau area dimana produk pasangan radikal dibentuk. (Sagdeev, Salikhov, & Molin, 1977). Perubahan pada pasangan radikal menyebabkan Burung menerima respon yang berbeda sehingga menyebabkan perubahan orientasi Terbang.



Gambar 3. Representasi skematis kepala burung dengan sistem trigeminal (TG= ganglion trigeminal; C=cere; V1, cabang ophthalmic dari saraf trigeminal; V2, cabang maksila; V3, cabang mandibular) (Sumber: Cadiou & McNaughton, 2010).

3.2. Mekanisme fisiologi perubahan orientasi terbang akibat perubahan medan magnet

Gerakan dan arah navigasi terbang burung dipengaruhi oleh medan magnet dan ketersediaan cahaya. Anomali medan magnet menstimulasi perbedaan arah navigasi melalui dua cara. Pertama, anomali medan magnet menyebabkan perubahan orientasi kutub magnet yang menjadi pedoman navigasi, dan kedua, anomali menyebabkan perubahan frekuensi medan magnet yang direspon secara berkesinambungan sepanjang proses fisiologi terbang normal terjadi.

Teknik mekanis yang digunakan burung untuk memindai medan magnet adalah *head scanning movement* untuk mendeteksi arah medan magnet bumi. Burung dapat menunjukkan perubahan arah terbang karena magnetit menyesuaikan orientasi dengan arah medan magnet yang berubah. Partikel magnetit memiliki momen magnetik yang stabil saat berjejer di sepanjang sumbu partikel. Jika burung berkontak dengan getaran magnetit kuat, maka berdampak terhadap arah terbang spesies *Zosterops lateralis*, salah satu spesies Burung berkicau, sehingga populasi burung ini mengalami pembelokan arah migrasi alami mereka hingga mencapai 90° menuju timur selama sekitar 2 hari (Wiltshko *et al.* 1998).

Pemindaian cahaya sebagai kompas arah gerakan terbang burung juga dipengaruhi oleh cahaya. Jika terdapat cahaya dalam proses pemindaian, burung mendeteksi sumbu simetri dari pola visual yang ter-modulasi oleh medan magnet. Anomali medan magnet sebelum gempa bumi akan ikut menyebabkan gangguan pola visual kompas cahaya. Sel

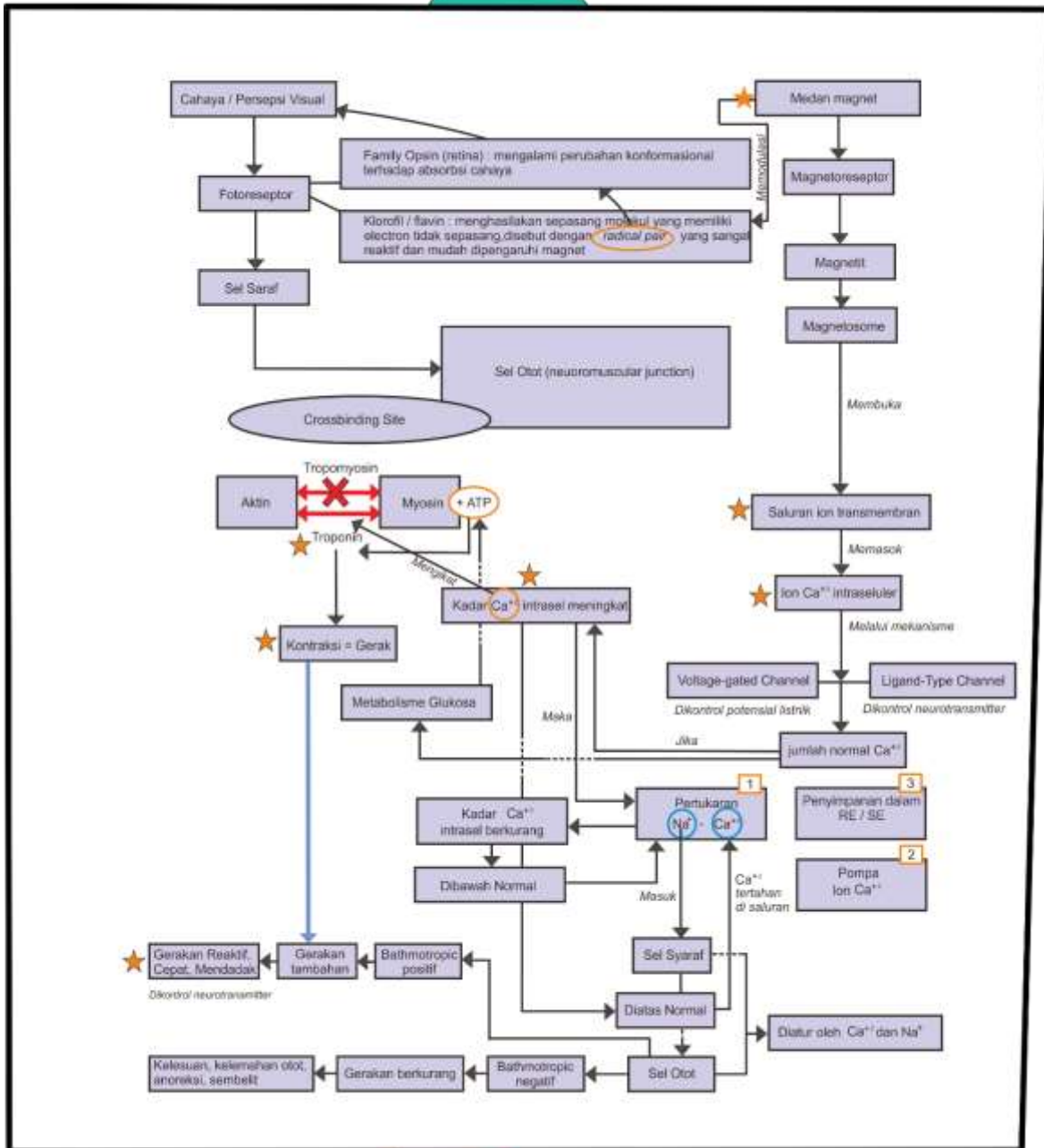
saraf akan membaca stimulus pola visual yang berbeda dengan pola visual yang dipedomani dalam keadaan normal (tidak dipengaruhi oleh peristiwa prekursori gempa bumi).

Kedua stimulus ini terjadi secara bersamaan dan sel, jaringan, organ dan sistem organ tubuh burung merespon melalui jalur yang diilustrasikan pada Gambar 4. Tahapan yang memiliki tanda bintang merupakan tahapan yang mengalami perubahan jika terjadi perubahan pada medan magnet termasuk anomali medan magnet sebelum gempa bumi.

Fungsi metabolisme yang dipengaruhi saat terjadi anomali medan magnet adalah ion kalsium (Ca^{+2}). Kalsium memasuki sel dengan 2 (dua) cara. Cara pertama adalah *ligand-type channel* yang dikontrol oleh neurotransmitter atau hormon. Cara kedua adalah *voltage-gated channel*, yang umumnya ditemukan dalam otot dan sel saraf, dan dikontrol oleh potensial membran listrik. Dalam hal ini, proses seluler yang menjadi proses kunci perubahan biokimia akibat anomali medan magnet pra gempa bumi adalah transpor ion kalsium pada membran sel.

Kalsium memiliki peran penting terhadap semua jenis sel makhluk hidup (Clapham, 2007). Pada sel otot, kalsium mendukung fungsi kontraksi (Widura, 2001), salah satunya memicu kontraksi otot polos (Kristanti, 2014). Jumlah kalsium dalam keadaan normal berkaitan dengan kecukupan energi ATP yang akan menggerakkan myosin dan aktin melalui mekanisme *sliding filament*.

Perubahan medan magnet menyebabkan kanal pada membran sel mudah terbuka sehingga ion kalsium masuk ke dalam sel lebih mudah dan jumlahnya meningkat. Peningkatan jumlah kalsium menyebabkan metabolisme sel berubah salah satunya adalah ketersediaan ATP yang tinggi, sehingga *sliding filament movement* antara filamen aktin dan filamen myosin berjalan lebih cepat. Selain itu, ion kalsium akan berikatan dengan troponin pada filamen aktin dan mendorong filamen tropomiosin menutup celah-celah *active site* filamen aktin, sehingga *active site* terbuka. Pembukaan *active site* akan menstimulus kontraksi sel otot sehingga terjadi fluktuasi gerakan yang abnormal yang dikenal dengan istilah *bathmotrope effect* (efek bathmotropik). *Bathmotrope effect* yang diekspresikan oleh Burung akibat perubahan orientasi medan magnet termasuk kategori positif yang diindikasikan oleh peningkatan frekuensi gerak atau penambahan gerakan/aktivitas dalam bentuk perubahan arah terbang.



Gambar 4. Mekanisme Biokimia perubahan Perilaku Terbang akibat perubahan medan magnet.

4. Kesimpulan

Burung merupakan hewan yang aktivitasnya paling mudah terlihat, karena tidak dimiliki oleh hewan lain, yaitu terbang. Aktivitas terbang burung dapat dilihat pada harian dan musiman. Aktivitas terbang merepresentasikan perilaku khusus burung yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan tertentu sekaligus merupakan upaya adaptasi dalam rangka

mempertahankan kehidupan, dengan demikian Aktivitas terbang merupakan perilaku bawaan sekaligus perilaku adaptif.

Perilaku terbang burung dipengaruhi oleh proses fisika yang terjadi di alam. Perubahan kondisi medan magnet sebelum gempa bumi juga merupakan faktor fisika yang mempengaruhi. Struktur yang mendukung deteksi Burung terhadap perubahan medan magnet sebelum gempa bumi adalah adanya reseptor cahaya dan reseptor magnetit. Kedua reseptor ini bekerja sinergis dalam mendukung fungsi dan orientasi atau arah Terbang yang didukung oleh magnetit dan pigmen opsin dan flavin yang berhubungan dengan retina dan system saraf. Anomali medan magnet menyebabkan badan penerima sinyal magnet membuka membran sel sehingga ion kalsium masuk dan meningkat jumlahnya dalam sel. Peningkatan ion kalsium berhubungan dengan kelebihan penyediaan ATP dalam metabolisme sel, khususnya sel otot. Kelebihan ATP akan meningkatkan Aktivitas sliding movement protein aktin dan myosin semakin cepat sehingga kontraksi otot lurik juga semakin meningkat. Mekanisme perubahan Biokimia menimbulkan bathmotrope effect, yang menyebabkan penambahan aktivitas, arah atau Frekuensi Gerakan pada Burung. Hal inilah yang teramati sebagai anomali perilaku terbang.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas berbagai bentuk dukungan dari Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Padang, Jurusan Pendidikan IPA FMIPA Universitas Negeri Padang dan Program Studi Doktor Pendidikan IPA Universitas Pendidikan Indonesia.

Daftar Pustaka.

- Bahtiar, D. H., Susanti, R., & Rahayuningsih, M. (2014). Keanekaragaman Jenis Ektoparasit Burung Paruh Bengkok Famili Psittacidae di Taman Margasatwa Semarang. *Life Science*, 3(2).
- Barnard, Chris. 2004. *Animal Behaviour; Mechanism, Development, Function and Evolution*. London: Peardon Education Limited.
- Bayong, TjHK., (2016). *Ilmu Kebumihan dan Antariksa*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Cadiou, H., & McNaughton, P. A. (2010). Avian Magnetite-based Magnetoreception: A Physiologist's Perspective. *Journal of the Royal Society Interface*, 7 (suppl_2), S193-S205.
- Cao, K., & Huang, Q. (2018). Geo-sensor (s) for potential prediction of earthquakes: can earthquake be predicted by abnormal animal phenomena? *Annals of GIS*, 24(2), 125-138.
- Ciptono, A. T., & Handziko, R. C. (2017). Pengaruh Faktor Lingkungan Klimatik dan Kondisi Habitat Terhadap Perilaku Bersarang Burung Bondol Haji (*Loncura maja*). In *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Biologi Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta* (pp. 27-38).
- Clapham, D. E. (2007). Calcium signaling. *Cell*, 131(6), 1047-1058.
- Dial, K. P., Kaplan, S. R., Goslow Jr, G. E., & Jenkins Jr, F. A. (1987). Structure and neural control of the pectoralis in pigeons: implications for flight mechanics. *The Anatomical Record*, 218(3), 284-287.
- Dial, K. P., Kaplan, S. R., Goslow, G. E., & Jenkins, F. A. (1988). A functional analysis of the primary upstroke and downstroke muscles in the domestic pigeon (*Columba livia*) during flight. *Journal of Experimental Biology*, 134(1), 1-16.
- Freund, F. T. (2007). Pre-earthquake signals? Part I: Deviatoric stresses turn rocks into a source of electric currents. *Natural Hazards and Earth System Science*, Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union, 7 (5), pp.535-541.

- Gitta, A., Masy'ud, B., & Suzanna, E. (2012). Aktivitas harian dan perilaku makan burung kakatua-kecil jambul kuning (*Cacatua Sulphurea Sulphurea* Gmelin, 1788) di penangkaran. *Media Konservasi*, 17(1).
- Grant, R. A., Raulin, J. P., & Freund, F. T. (2015). Changes in animal activity prior to a major (M= 7) earthquake in the Peruvian Andes. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 85, 69-77.
- Greenewalt, C. H. (1962). Dimensional relationships for flying animals. *Smithsonian miscellaneous collections*.
- Halford, S., Pires, S. S., Turton, M., Zheng, L., González-Menéndez, I., Davies, W. L. & Foster, R. G. (2009). VA opsin-based photoreceptors in the hypothalamus of birds. *Current Biology*, 19(16), 1396-1402.
- Kadri, M. H. M., Septinova, D., & Riyanti, R. (2016). Karakteristik dan Perilaku Merpati Tinggi Lokal Jantan dan Betina. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, 4(2).
- Kristanti, R. A. (2014). Pengaruh Oksitosin Terhadap Kontraksi Otot Polos Uterus. *El-Hayah*, 5(1), 17-21.
- Lala, F., Wagiman, F. X., & Putra, N. S. (2013). Keanekaragaman serangga dan struktur vegetasi pada habitat burung insektivora *Lanius schach* Linn. di Tanjungsari, Yogyakarta. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 10(2), 70-77.
- Liu, J., Wei, W., Kuang, H., Tsien, J. Z., & Zhao, F. (2014). Heart rate and heart rate variability assessment identifies individual differences in fear response magnitudes to earthquake, free fall, and air puff in mice. *PLoS One*, 9(3).
- Mouritsen, H., & Ritz, T. (2005). Magnetoreception and its use in bird navigation. *Current Opinion in Neurobiology*, 15, 406–414. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2005.06.003>
- Putra, I. K. A., Watiniasih, N. L., & Nuyana, I. N. (2014). Perilaku Harian Burung Jalak Bali (*Leucopsar rothschildi*) Periode Breeding Pada Relung Yang Berbeda Di Bali Bird Park, Gianyar, Bali. *Jurnal Biologi Udayana*, 18(1).
- Sagdeev, R. Z., Salikhov, K. M., & Molin, Y. M. (1977). The influence of the magnetic field on processes involving radicals and triplet molecules in solutions. *Russian Chemical Reviews*, 46(4), 297.
- Saputro, A. D., Nova, K., & Kurtini, T. (2016). Perilaku Burung Murai Batu (*Copsychus malabaricus*) Siap Produksi. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, 4(3).
- Sawitri, R., & Takandjandji, M. (2010). Pengelolaan dan perilaku burung elang di Pusat Penyelamatan Satwa Cikananga, Sukabumi. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 7(3), 257-270.
- Sawitri, R., Mukhtar, A. S., & Iskandar, S. (2010). Status konservasi mamalia dan burung di Taman Nasional Merbabu. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 7(3), 227-239.
- Sawitri, R., & Iskandar, S. (2012). Keragaman jenis burung di Taman Nasional Kepulauan Wakatobi dan Taman Nasional Kepulauan Seribu. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 9(2), 175-187.
- Setyawati, S., Pramono, H., & Ashari, A. (2015). Kecerdasan Tradisional dalam Mitigasi Bencana Erupsi pada Masyarakat Lereng Baratdaya Gunungapi Merapi. *Socia*, 12(2), 100-110.
- Sukiya. (2005). Biologi Vertebrata. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Takandjandji, M., & Mite, M. (2016). Perilaku burung beo alor di penangkaran Oilsonbai, Nusa Tenggara Timur. *Buletin Plasma Nutfah*, 14(1), 43-48.
- Wahyudi, W. (2011). Prediksi gempabumigempa bumi jepang 11 maret 2011 oleh detektor atropatena-id (stasiun Yogyakarta). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 12(3).
- Weinstein, G. N., Anderson, C., & Steeves, J. D. (1984). Functional characterization of limb muscles involved in locomotion in the Canada goose, *Branta canadensis*. *Canadian Journal of Zoology*, 62(8), 1596-1604.
- Widura, W. 2001. Kalsium Dan Fungsi Sel. *Maranatha Journal of Medicine and Health*, 1(1).
- Wiltschko, W. (1978). Further Analysis of the Magnetic Compass of Migratory Birds. In *Animal Migration, Navigation, and Homing* (pp. 302-310). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Wiltschko, W., & Wiltschko, R. (1996). Magnetic orientation in birds. *Journal of Experimental Biology*, 199(1), 29-38.
- Wiltschko, W., Munro, U., Ford, H., & Wiltschko, R. (1998). Effect of a magnetic pulse on the orientation of silvereyes, *Zosterops l. lateralis*, during spring migration. *Journal of Experimental Biology*, 201(23), 3257-3261.
- Yamauchi, H., Uchiyama, H., Ohtani, N., & Ohta, M. (2014). Unusual animal behavior preceding the 2011 earthquake off the pacific coast of Tohoku, Japan: A way to predict the approach of large earthquakes. *Animals*, 4(2), 131-145.