

Prototipe Pemantauan Kadar Air atau Kelembaban pada Tanah Menggunakan Arduino dan Protokol Zigbee/IEEE 802.15.4 pada Platform M2M

Soil Moisture monitoring prototype using Arduino and Zigbee Protocol with M2M Platform

Putu Agus Fredy Satya Dharma, Maman Abdurohman, ST., MT.

³Prodi SI Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

fredvsatya@telkomuniversitv.ac.id ²mamanabdurohman@telkomuniveristv.co.id ³

ABSTRAK

Tanah merupakan media penting agar tanaman dapat tumbuh secara optimal. Air sangat dibutuhkan oleh tanaman untuk dapat tumbuh dengan optimal. Kelebihan atau kekurangan air sangat berpengaruh terhadap kualitas tanaman. Oleh karena itu kelembaban tanah merupakan salah satu faktor penentu dalam pertumbuhan tanaman selain faktor mineral dalam tanah. Indera manusia terbatas dalam hal mengukur kelembaban tanah secara tepat. Menurut World Wildlife Foundation, penggunaan air bersih di seluruh dunia menghabiskan 2.500 triliun liter air setiap tahunnya untuk menyiram tanaman. Sayangnya, diperkirakan sebanyak 60% diantaranya terbuang karena sistem irigasi yang kurang efisien[15]. Karena itu dibutuhkan sistem yang dapat memantau kadar air dalam tanah secara otomatis. Sistem ini menggunakan *Wireless Sensor Network* sebagai sarana komunikasi pertukaran data karena sifatnya yang *wireless*, dimana banyak kerugian yang ditimbulkan apabila kita menggunakan kabel seperti biaya instalasi yang mahal, biaya perawatan yang mahal, serta letak kabel yang strategis. Sedangkan dengan menggunakan protokol 802.15.4 kerugian di atas bisa diatasi karena karakteristik dari protokol tersebut adalah *low power, low cost dan low data rate*. Hasil yang diharapkan dengan membangun sistem ini adalah dapat memantau kadar air dalam tanah sebagai acuan untuk menentukan waktu yang tepat dalam melakukan penyiraman pada tanaman sehingga air yang terbuang percuma dapat berkurang.

Kata kunci : *Wireless Sensor Network*, irigasi, waktu, air, *wireles*

ABSTRACT

Soil is an important medium for the plant, so plant can grow optimally. Water is needed by plants to be able to grow optimally. Excess or shortage of water affects the quality of the crop. Therefore, soil moisture is one of the determining factors in plant growth factors other than minerals Human Sense is limited in terms of accurately to measure the soil moisture. According to the World Wildlife Foundation, the use of clean water around the world spent 2.500 trillion liters of water annually for watering the plants. Unfortunately, 60% from total water spent is wasted because of inefficient irrigation systems [15]. This system uses a *Wireless Sensor Network* for the communication data exchange because it is *wireless*, where a lot of losses incurred when we use cable connection such as expensive installation costs, maintenance costs, as well as the strategic location of the cable. While using the 802.15.4 protocol, that disadvantages can be overcome because of the characteristics of this protocol is a low power, low cost and low data rate. Expected Results by building this prototype system is able to monitor the moisture content in the soil.

Keywords: *Wireless Sensor Network*, irrigation, time, water, *wireless*

1. Pendahuluan

Tanah merupakan media penting agar tanaman dapat tumbuh secara optimal. Air dalam tanah sangat dibutuhkan oleh tanaman sebagai pendorong proses respirasi dan pertumbuhan tanaman. Kekurangan air tanah akan menyebabkan tanaman menjadi layu kemudian mati, hal ini disebabkan karena penyerapan air lebih rendah daripada penguapan yang terjadi pada tanaman. Kelebihan air tanah akan menyebabkan tanaman terutama sayur – sayuran akan layu akibat keracunan nitrogen, serta pemborosan air. Oleh karena itu kadar air dalam tanah / kelembaban

tanah merupakan salah satu faktor penentu dalam pertumbuhan tanaman selain faktor mineral dalam tanah. Indera manusia terbatas dalam hal mengukur kelembaban tanah secara tepat. Karena itu dibutuhkan sistem yang dapat memantau kadar air dalam tanah secara otomatis. Menurut World Wildlife Foundation, penggunaan air bersih di seluruh dunia menghabiskan 2.500 triliun liter air setiap tahunnya untuk menyiram tanaman. Sayangnya, diperkirakan sebanyak 60% diantaranya terbuang karena sistem irigasi yang kurang efisien[15].

2. Landasan Teori

2.1. Kadar Kelembaban tanah (*Soil Moisture*)

Kelembaban tanah adalah jumlah air yang ditahan di dalam tanah setelah kelebihan air dialirkan, apabila tanah memiliki kadar air yang tinggi maka kelebihan air tanah dikurangi melalui evaporasi, transpirasi dan transporair bawah tanah. Untuk mengetahui kadar kelembaban tanah dapat digunakan banyak macam teknik, diantaranya dapat dilakukan secara langsung melalui pengukuran perbedaan berat tanah (disebut metode gravimetri) dan secara tidak langsung melalui pengukuran sifat-sifat lain yang berhubungan erat dengan air tanah (Gardner, 1986)[13].

Metode langsung secara gravimetri memiliki akurasi yang sangat tinggi namun membutuhkan waktu dan tenaga yang sangat besar. Kebutuhan akan metode yang cepat dalam memonitor fluktuasi kadar air tanah menjadi sangat mendesak sebagai jawaban atas tingginya waktu dan tenaga yang dibutuhkan oleh metode gravimetri. Dua metode penetapan kadar air tanah secara tidak langsung yang sudah banyak dikenal adalah melalui pengukuran sebaran neutron dan pengukuran waktu hantaran listrik di dalam tanah (time domain reflectometry, TDR). Prinsip kerja kedua metode tersebut adalah pengukuran dinamika sebaran neutron atau waktu hantaran listrik di dalam tanah akibat adanya sejumlah air (Nadler et al., 1991)[13].

2.2. *Wireless Sensor Network (WSN)*

WSN adalah sebuah jaringan yang menghubungkan perangkat-perangkat seperti sensor node, router dan sink node. Perangkat ini terhubung secara ad-hoc dan mendukung komunikasi multi-hop. Istilah ad-hoc merujuk pada kemampuan perangkat untuk berkomunikasi satu sama lain secara langsung tanpa memerlukan infrastruktur jaringan seperti router atau akses point. Sedangkan multi-hop yaitu istilah yang merujuk pada komunikasi beberapa perangkat yang melibatkan perangkat antara (*intermediate*), multi-hop melibatkan perangkat antara seperti router untuk meneruskan sebuah paket dari satu node ke node lain dalam jaringan[9].

2.3 IEEE 802.15.4

2.3.1 Overview IEEE802.15.4

IEEE 802.15.4 (IEEE 802.15.4 task group 4) merupakan bagian dari *workgroup* IEEE 802.15.4 (WPAN) yang mempunyai definisi standar komunikasi nirkabel untuk jaringan *Low*

Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPAN).

LR-WPAN menjadi pilihan untuk digunakan pada aplikasi yang membutuhkan data rate rendah (*low data rate*), dan konsumsi energi yang rendah (*low power*) seperti aplikasi *monitoring* dan *home automation*. Kedua jenis aplikasi tersebut membutuhkan *data rate* rendah karena pertukaran data pada jaringan tersebut relatif kecil. Ketahanan energi yang tinggi juga diperlukan karena sensor diharapkan selalu siap untuk mengakuisisi data setiap saat.

2.3. Xbee 802.15.4

Xbee 802.15.4 adalah salah satu produk modul komunikasi nirkabel yang mengadopsi IEEE 802.15.4. Bedanya dengan zigbee adalah modul ini hanya dapat digunakan untuk membuat jaringan WSN dengan topologi *point to point* atau *star*.

2.4. M2M (*Machine to Machine*)

M2M adalah salah satu teknologi komunikasi terdepan pada komunikasi nirkabel. Komunikasi ini menghilangkan cara tradisional dari perangkat *wireless* yang masih menggunakan bantuan manusia [9]. Teknologi ini memungkinkan sistem nirkabel dan kabel untuk berkomunikasi dengan perangkat sejenis lainnya. M2M sudah banyak digunakan untuk pengaplikasian sistem di berbagai bidang. M2M menyampaikan instrumen yang menangani berbagai perangkat nirkabel melalui jaringan ke aplikasi yang dapat menerjemahkan suatu peristiwa menjadi sebuah informasi yang dapat diolah.

2.5. Open MTC

Open MTC adalah sebuah platform pada layer akses yang digunakan untuk mendukung komunikasi M2M dalam kaitannya dengan perbedaan karakteristik *traffic*. M2M juga merupakan salah satu platform yang dapat diimplementasikan pada *Smart City* [2]. Kegunaan dari penggunaan platform pada M2M adalah untuk mengefisienkan koneksi ke beberapa perangkat dan menghubungkannya ke servis. OpenMTC bisa diakses menggunakan protokol HTTP.

3. PERANCANGAN SISTEM

3.1 Gambaran Umum

Sistem pemantauan kadar air dalam tanah dirancang untuk mengetahui kadar air yang ada dalam, dan melakukan tindakan yang tepat sesuai dengan output sistem. Pendeteksian air dilakukan dengan mengamati hasil pemantauan kelembaban pada tanah. Untuk mengetahui kadar air di dalam tanah diperlukan sebuah sensor kelembaban tanah (moisture) yang terhubung ke port ADC mikrokontroler. Sensor yang mengambil data kadar air dalam tanah berada pada sisi *client* dan data tersebut akan diolah menggunakan Arduino UNO sebagai mikrokontroler kemudian ditransmisikan menggunakan protokol ZigBee/IEEE 802.15.4 ke XBee sebagai *receiver*. Pada sisi *server*, terdapat *receiver* yang menerima data tadi sebagai, dan juga laptop yang digunakan untuk pemroses data sebelum diteruskan ke server komunikasi M2M OpenMTC.

3.2 Requirements sistem

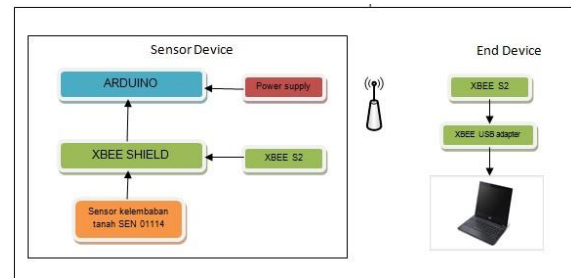
3.2.1 Design Sistem

Design Sistem adalah sebagai berikut :

1. Komunikasi yang terjadi antar sensor device dan end device menggunakan standar jaringan ZigBee secara point-to-point.
2. Sensor device dan end device dapat melakukan pengambilan dan pengiriman data secara periodik ke server OpenMTC serta menampilkan data dalam bentuk grafik, dan menghasilkan status kekurangan atau kelebihan air.

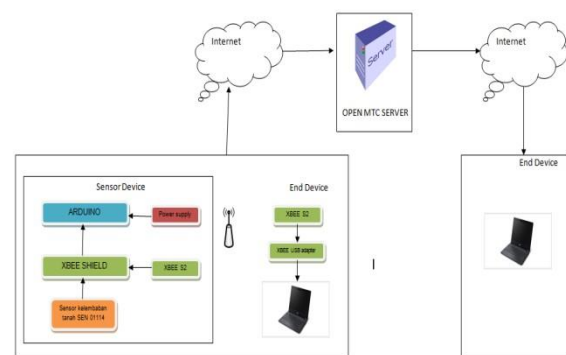
3.3 Perancangan Sistem

Sistem pemantauan kelembaban tanah terbagi menjadi tiga bagian yaitu Sensor device, platform OpenMTC, dan End device. Sensor device terdiri dari sensor dan gateway yang dihubungkan ke GSCL. Sensor tersebut terdiri dari *soil moisture sensor*, mikrokontroler, XBee, Xbee Shield, catu daya. *Sensor device* berfungsi untuk mengambil data kelembaban tanah dan selanjutnya diproses oleh mikrokontroler kemudian ditransmisikan menggunakan modul XBee ke gateway. Detail dari perangkat *sensor device* sebagai berikut :



Gambar 3. 1 sensor device

Gateway pada *end device* terdiri dari modul XBee dan laptop yang berperan sebagai *node coordinator* untuk menerima data yang akan masuk ke dalam aplikasi dari *device sensor* melalui jaringan ZigBee.

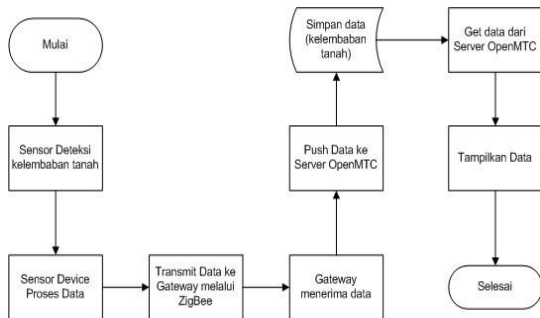


Gambar 3. 2 arsitektur sistem

Gambar di atas merupakan arsitektur prototipe pemantauan kadar air atau kelembaban pada tanah menggunakan arduino dan protokol ZigBee/ IEEE 802.15.4 pada platform M2M. *End device* yang terdiri dari *Xbee* dan *gateway* akan mengirimkan data dalam format JSON melalui jaringan internet ke *platform* OpenMTC menggunakan metode HTTP REST. *Platform* OpenMTC merupakan *platform* yang membantu komunikasi M2M. OpenMTC menyediakan berbagai layanan (SCL) untuk membantu komunikasi M2M salah satunya penyimpanan data dan histori data yang akan digunakan dalam tugas akhir ini. Hanya GSCL yang digunakan dalam tugas akhir ini. GSCL memiliki peran sebagai *gateway* untuk *End device* dan *gateway app* itu sendiri.

End device yang terdaftar ke GSCL openMTC akan secara periodik mengirimkan data nilai kelembaban dengan metode HTTP dengan REST. Data tersebut akan disimpan di server openMTC. Kemudian data tersebut akan diakses oleh *End device*, dalam tugas akhir ini aplikasi

berbasis Java yang digunakan untuk mengambil data yang telah di *push* oleh sensor *device*.



Gambar 3. 3 flowchart sistem

Gambar 3.11 merupakan *flowchart* dari sistem pemantauan kelembaban tanah. Pertama sensor pada *sensor device* melakukan pembacaan data berupa nilai kelembaban tanah, kemudian setelah nilai kelembaban tanah berhasil dibaca maka arduino akan memproses data untuk selanjutnya data tadi akan dikirim ke *gateway* melalui Xbee pada arduino yang terhubung dengan Xbee pada laptop secara *point-to-point*. *Gateway* langsung mengirimkan data ke server OpenMTC dengan menggunakan metode HTTP PUSH. Data yang diterima server OpenMTC akan disimpan dalam container. Selanjutnya *gateway* akan mengambil data dari server OpenMTC dengan metode HTTP GET. Setelah data diterima *gateway*, *end app* berupa aplikasi java akan memproses data dan menampilkan grafik nilai kelembaban serta status apakah tanah kekurangan atau kelebihan air.

4 PENGUJIAN DAN ANALISIS

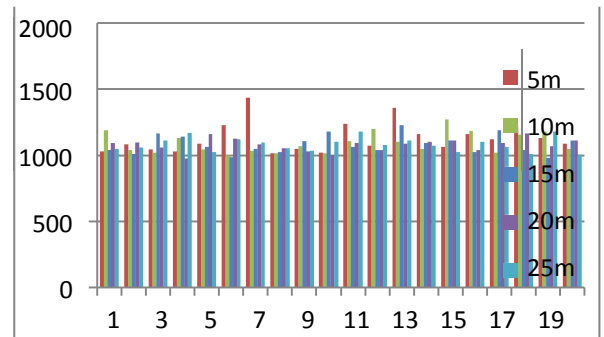
Bab ini akan membahas hasil pengujian yang dilakukan sesuai dengan skenario pengujian yang telah ditentukan pada bab 3. Pengujian dilakukan untuk menjawab rumusan masalah pada bab pendahuluan. Berikut merupakan hasil pengujian dan analisis dari tiap skenario pengujian yang telah ditentukan.

4.1. Skenario Pengujian Performansi Sistem

Pada Skenario ini akan dihitung waktu *start – finish* yang digunakan untuk melakukan transmisi data dengan dua kondisi yaitu adanya *obstacle* antara sensor dan gateway serta kondisi LoS. Tabel 4.1 berikut menunjukkan data yang didapat pada kondisi terdapat *obstacle* pada jarak 5m, 10m, 15m, 20m, 25m, 30m :

Table 4. 1 Data pada kondisi terdapat obstacle

Uji Ke -	Response time sistem (ms)					
	jarak					
	5m	10m	15m	20m	25m	30m
1	1028	1191	1038	1091	1051	loss
2	1085	1037	1009	1098	1058	loss
3	1045	1018	1166	1058	1112	loss
4	1028	1129	1139	976	1168	loss
5	1086	1044	1061	1161	1025	loss
6	1226	1001	984	1127	1123	loss
7	1434	1036	1048	1084	1098	loss
8	1015	1013	1026	1054	1056	loss
9	1051	1067	1109	1028	1033	loss
10	1018	1017	1181	1000	1103	loss
11	1237	1107	1065	1090	1180	loss
12	1071	1201	1039	1040	1080	loss
13	1360	1104	1228	1086	1114	loss
14	1162	1051	1093	1100	1075	loss
15	1064	1271	1111	1113	1025	loss
16	1158	1185	1024	1039	1103	loss
17	1123	1020	1191	1092	1065	loss
18	1220	1156	1039	1166	1011	loss

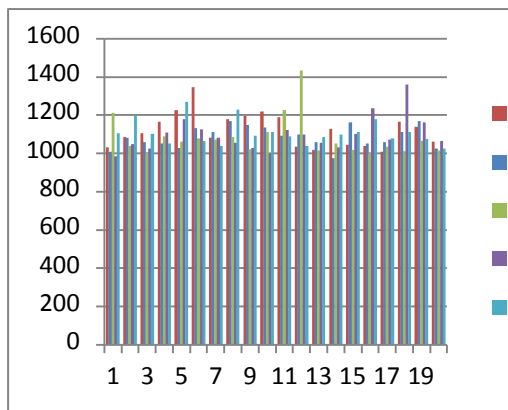


Grafik 4.1 data pada kondisi terdapat obstacle

Tabel 4.2 berikut menunjukkan data ada kondisi LoS pada jarak 10m, 20m, 30m, 40m, 50m, 60m :

Table 4. 2 Data pada kondisi LoS

Jarak ke -	Response time sistem (ms)					
	jarak					
	10m	20m	30m	40m	50m	60m
1	1032	1008	1212	984	1107	loss
2	1086	1083	1038	1048	1201	loss
3	1107	1059	1006	1026	1104	loss
4	1167	1051	1089	1109	1051	loss
5	1226	1029	1062	1181	1271	loss
6	1347	1134	1079	1127	1065	loss
7	1082	1114	1073	1084	1039	loss



Grafik 4.2 data pada kondisi LoS

4.1.1. Analisis Hasil pada kedua kondisi

Kondisi terdapat obstacle :

Pada pengujian pertama

dilakukan dengan cara tidak LoS, atau terdapat obstacle antara gateway dan sensor. Pengujian pertama dari jarak 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, 30 m, posisi device sensor ke gateway terhalang oleh tanaman, dan beberapa pohon tetapi masih bisa dilakukan proses transmisi data. Pada jarak 30 m tidak dapat dilakukan pengiriman data karena terjadi packet loss. Hal tersebut terjadi karena device sensor sudah tidak mampu mengirim data ke gateway akibat jarak dan obstacle yang bertambah.

pengujian pertama rata-rata response time system yang dibutuhkan berkisar antara 1082 ms hingga 1131 ms. Perbedaan response time system tersebut terjadi karena penambahan jarak yang dilakukan. Rata-rata response time system dari jarak 5m sampai dengan 25 m tidak mengalami perubahan yang terlalu signifikan.

Faktor obstacle berupa pohon, dan tanaman tidak menjadi masalah dalam proses tranmit data dari jarak 5m hingga 25m. Jarak yang bertambah menjadi 30m serta bertambahnya obstacle menyebabkan terjadinya packet loss sehingga proses transmisi data tidak dapat dilakukan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses transmisi data hanya dapat terjadi pada jarak 0 – 25m dengan kondisi terdapat obstacle.

Kondisi LoS :

Response time system yang dibutuhkan oleh sistem berkisar antara 1082 ms sampai 1123 ms. Perbedaan response time system tersebut terjadi karena penambahan jarak yang dilakukan. Selain perubahan jarak besarnya data yang dikirimkan, dapat mempengaruhi response

time system. Pada jarak 60 m terjadi packet loss yang artinya sensor device tidak dapat mengirim data ke gateway, dapat disimpulkan bahwa proses transmisi data hanya dapat terjadi pada jarak 0 m – 50 m pada kondisi LoS.

4.2. Skenario Pengujian nilai kelembaban tanah pada kedalaman dan jenis tanah yang berbeda

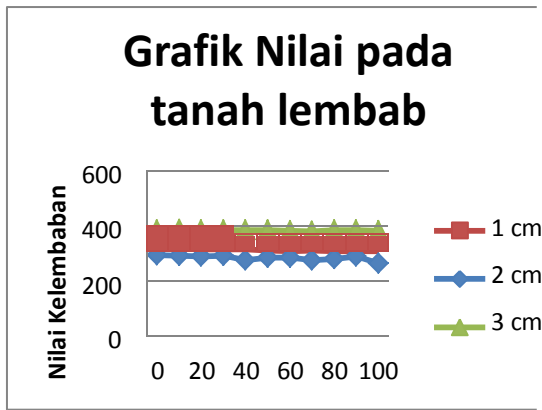
Skenario ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan nilai kelembaban

tanah yang dibaca oleh sensor pada kedalaman dan jenis tanah yang berbeda – beda. Jenis tanah yang digunakan disini ada tiga yaitu kering, lembab dan basah dimana nilai kelembaban pada tanah kering sebesar 0 – 300, pada tanah lembab sebesar 301-600

dan tanah basah sebesar 601 – 900. Sensor akan diletakkan pada kedalaman 1cm, 2cm, 3cm dengan jenis tanah kering kemudian nilai kelembaban tanah akan dibaca. Tabel 4.3 menunjukkan data kedalaman 1cm, 2cm, dan 3cm pada tanah kering (0 – 300) :

Table 4. 3 Data tiap kedalaman pada tanah kering

waktu (detik)	tanah kering (0 - 300)		
	jarak (cm)		
	1	2	3
0	48	55	171
10	44	53	157
20	42	53	152
30	43	51	142
40	42	50	140
50	43	48	139
60	41	47	134
70	42	49	134
80	42	49	132
90	43	48	131
100	42	48	128
Rata - Rata	43	50	142

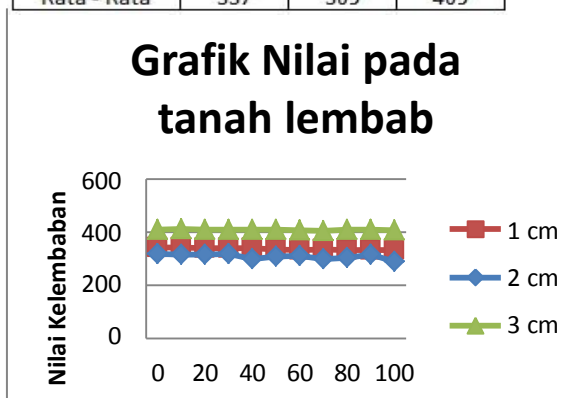


Grafik 4.4 data tiap kedalaman pada tanah lembab

Tabel 4.5 menunjukkan data kedalaman 1cm, 2cm, dan 3cm pada tanah lembab (601 – 900) :

Table 4. 4 Data tiap kedalaman pada tanah basah

waktu (detik)	tanah lembab (301 - 600)		
	jarak (cm)		
	1	2	3
0	343	319	409
10	342	317	412
20	340	315	409
30	339	318	411
40	339	300	409
50	336	310	409
60	334	311	408
70	336	300	406
80	333	305	410
90	332	315	409
100	333	290	408
Rata - Rata	337	309	409



Grafik 4.4 data tiap kedalaman pada tanah lembab

4.2.1. Analisis hasil untuk pengujian nilai kelembaban tanah pada kedalaman dan jenis tanah yang berbeda

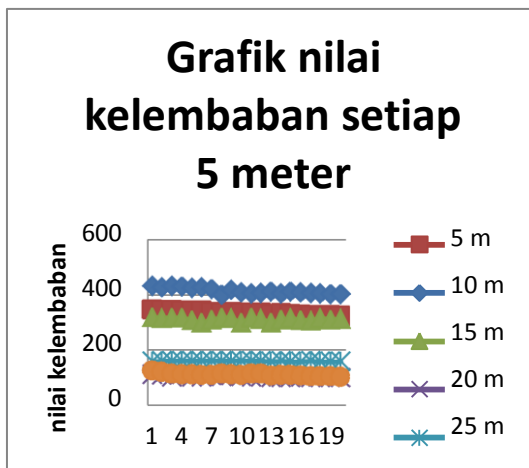
Nilai kelembaban saat pengukuran kedalaman 1 cm berbeda hasilnya dengan kedalaman 2 cm pada semua jenis tanah dimana nilai menjadi lebih besar pada kedalaman 2 cm, tetapi perbedaan tidak terlalu signifikan. Perbedaan nilai yang mencolok terjadi pada saat kedalaman 3 cm, nilai kelembaban pada kedalaman 3 cm yang akan dipakai untuk representasi kelembaban setiap jenis tanah karena nilai pada kedalaman ini yang dirasa paling mendekati keadaan sebenarnya.

4.3. Skenario pengujian letak optimal penempatan sensor

Skenario ini bertujuan untuk menentukan letak yang optimal bagi sensor sehingga data yang terbaca sensor dapat merepresentasikan nilai kelembaban tanah pada jarak yang telah ditentukan. Tabel 4.6 menunjukkan data kelembaban pada jarak 5m, 10m, 15m, 20m, 25m, 30m :

Table 4. 5 data pada jarak setiap kelipatan 5m

Nilai ke	Nilai Kelembaban					
	jarak (meter)					
	5m	10m	15m	20m	25m	30m
1	345	430	319	109	158	124
2	343	426	315	108	160	119
3	342	430	318	101	159	111
4	340	428	317	109	159	109
5	339	424	309	101	159	109
6	339	427	299	101	159	108
7	336	419	311	105	160	106
8	334	399	316	102	159	111
9	336	417	314	104	159	109
10	333	408	299	103	159	108
11	332	404	318	101	159	111
12	333	405	312	101	159	111
13	329	410	299	99	158	105
14	330	403	310	99	159	106
15	328	411	314	99	157	107



Grafik 4.6 data pada jarak setiap kelipatan 5m

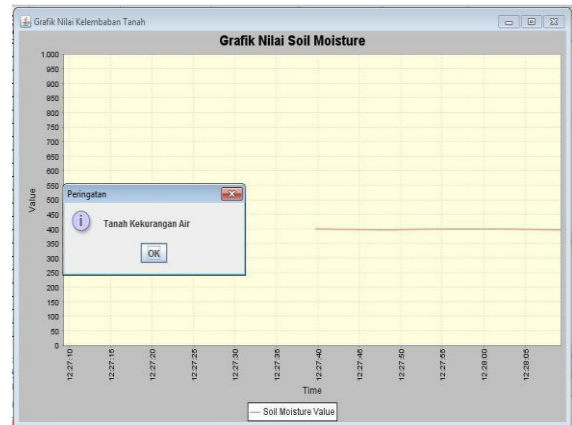
4.3.1. Analisis hasil untuk letak optimal penempatan sensor

Grafik 4.6 menunjukkan adanya perubahan nilai kelembaban setiap 5 meter, perubahan nilai tidak terlalu signifikan terjadi pada jarak antara 5 – 15 meter dan 20 – 30 meter. Tetapi nilai rata – rata kelembaban pada tanah 5 – 15 (353) dan 20 – 30 meter (123) mengalami perubahan yang cukup signifikan dimana nilai rata – rata pada 5 – 15m menunjukkan status tanah lembab, sedangkan nilai pada 20 – 30 m menunjukkan status tanah kering.

Bisa disimpulkan perlu adanya penempatan 2 sensor, dimana 1 sensor ditempatkan pada jarak antara 5 – 15 m dan 1 sensor lagi pada jarak 20 – 30 m untuk dapat merepresentasikan keadaan kedua tanah pada jarak tersebut.

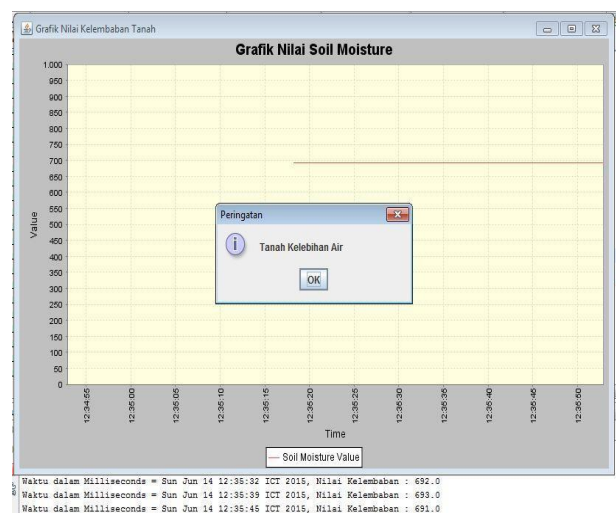
4.4. Skenario pengujian *warning system*

Skenario pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem bisa menghasilkan pesan peringatan apabila tanah mengalami kekurangan atau kelebihan air. Sistem akan mengeluarkan pesan peringatan tanah kekurangan air apabila nilai kelembaban tanah 0 – 300. Gambar 4.1 menunjukkan pesan peringatan pada tanah kekurangan air :



Gambar 4. 1 pesan peringatan kekurangan air

Sistem juga akan mengeluarkan pesan peringatan tanah kelebihan air apabila nilai kelembaban tanah 601 – 900. Gambar 4.2 menunjukkan pesan peringatan pada tanah kelebihan air :



Gambar 4. 2 pesan peringatan kelebihan air

4.4.1. Analisis pengujian *warning system*

Sistem prototipe pemantauan kelembaban tanah berfungsi dengan baik, hal ini ditunjukkan oleh keluarnya pesan peringatan apabila nilai kelembaban tanah (0 – 300) dimana tanah tersebut termasuk tanah kering. Apabila pesan ini keluar, maka user harus segera menyiram tanaman dan tanah hingga nilai kelembaban air menjadi (301 – 600). Dan keluarnya pesan peringatan kelebihan air apabila nilai kelembaban tanah (601 – 900) dimana tanah tersebut termasuk tanah basah. User harus segera menghentikan

proses penyiraman apabila pesan ini muncul pada aplikasi.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pengujian prototipe pemantauan kelembaban tanah, dapat ditarik kesimpulan :

1. Prototipe sistem monitoring kelembaban tanah dengan menggunakan platform komunikasi M2M OpenMTC dan jaringan Zigbee dapat dijadikan solusi alternatif dalam mengamati keadaan kelembaban tanah pada jarak 0 – 25 meter dengan keadaan adanya obstacle antara sensor dan gateway, dan pada jarak 0 – 50 meter dengan keadaan LoS.
2. Untuk optimasi deteksi kelembaban tanah, dapat menggunakan 2 sensor dimana 1 sensor diletakkan pada jarak 5 – 15 meter, dan 1 sensor lagi pada jarak 20 – 30 meter dengan kedalaman masing – masing tiap sensor adalah 3 cm.
3. Adanya kekurangan air ditandai dengan penurunan nilai kelembaban air yang kurang dari 300, sedangkan kelebihan air ditandai dengan peningkatan nilai kelembaban air yang melebihi 600.
4. Adanya perbedaan rata – rata nilai kelembaban yang dihasilkan pada jarak 5 – 15 meter dan 20 – 30 meter, Disebabkan karena adanya perbedaan kecepatan tanaman menyerap air yang ada pada tanah sehingga tanah pada 5 – 15 meter lebih cepat kering. Secara keseluruhan sistem Prototipe pemantauan kadar air atau kelembaban pada tanah menggunakan arduino dan protokol ZigBee/ IEEE 802.15.4 pada platform M2M sudah dapat mendeteksi apakah tanah kekurangan air, lembab, atau kelebihan air.

Daftar pustaka

[1] A. Sadeghioon, N. Metje, D. Chapman, Anthony dan Carl, "SmartPipes: Smart Wireless Sensor Networks for leak detection in Water Pipelines," *Journal of sensor and Actuator Networks*, p. 1, 2014.

[2] E. Asma, C. Hakan, W. Sebastian dan M. Thomas, "Design Aspect for a Reference M2M Communication Platform for Smart Cities," 2013.

[3] *Arduino*, 2013, Arduino Uno, tersedia : <http://arduino.cc/en/Main/arduinoboarduno>. Diakses tanggal 25 Oktober 2014

[4] Digi International (2007), *Xbee / Xbee Pro OEM Modules*

[5] Digi Internatioanl, *Xbee 802.15.4 Specification*, <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/point-multipoint-rfmodules/xbee-series1-module#spec>. Diakses tanggal 25 Oktober 2014

[6] Reily, O. Faludi, Robert., 2010., *Wireless Sensor Network. Building Wireless Sensor Network*

[7] GCM *architectural overview*, (2012) Android Developer Web site: <http://developer.android.com/google/gcm/gcm.html> . Diakses tanggal 25 Oktober 2014

[8] Guitierrez, A., (2005)., IEEE std 802.15.4 : Enabling Pervasive Wireless Sensor Networks

[9] Karl, H., & Willig, A, (2005), *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*, West Sussex : John Wiley & Sons, Ltd.

[11] *Mesh Networking Topology*., 2011., <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/ieee-802-15-4/mesh-networking-topology-topologies.php>. Diakses tanggal 25 Oktober 2014

[12] *Selecting the righth wireless technology* (2009, Sep)., <http://www.ni.com/white-paper/8939/en/> Diakses tanggal 25 Oktober 2014

[13] *Soil Moisture hygrometer sensor*., 2012., <http://www.vcc2gnd.com/2014/02/YL69-LM393Soil-Moisture-Hygrometer-Sensor.html>. Diakses tanggal 25 Oktober 2014

[14] Sujarwanto, jbpunikompp-gdl-sujarwanto-19682-6-bab2_lan-2, site : <http://elib.unikom.ac.id/>. Diakses tanggal 25 Oktober 2014

[15] Telekom., 2012., Pengantar Wireless Sensor Network. <http://telekom.ee.uui.ac.id/index.php/berita/22-pengantar-wireless-sensor-network-bagian-2>. Diakses pada tanggal 25 Oktober 2014

[16] F.Z, Zazuzeta., D.Z, Haman. 2013., *Potential Impacts of Improper Irrigation System Design*.

