

BAB III. PERANCANGAN

3.1 Pendahuluan

Perancangan sistem yang akan dibangun dalam penelitian ini adalah perangkat *hard ware* yang mempunyai kemampuan untuk mengidentifikasi suatu jarak tertentu dengan menggunakan untai dasar digital. Sistem ini menggunakan dua buah sensor ultrasonik, yaitu sebagai pemancar dan sebagai penerima.

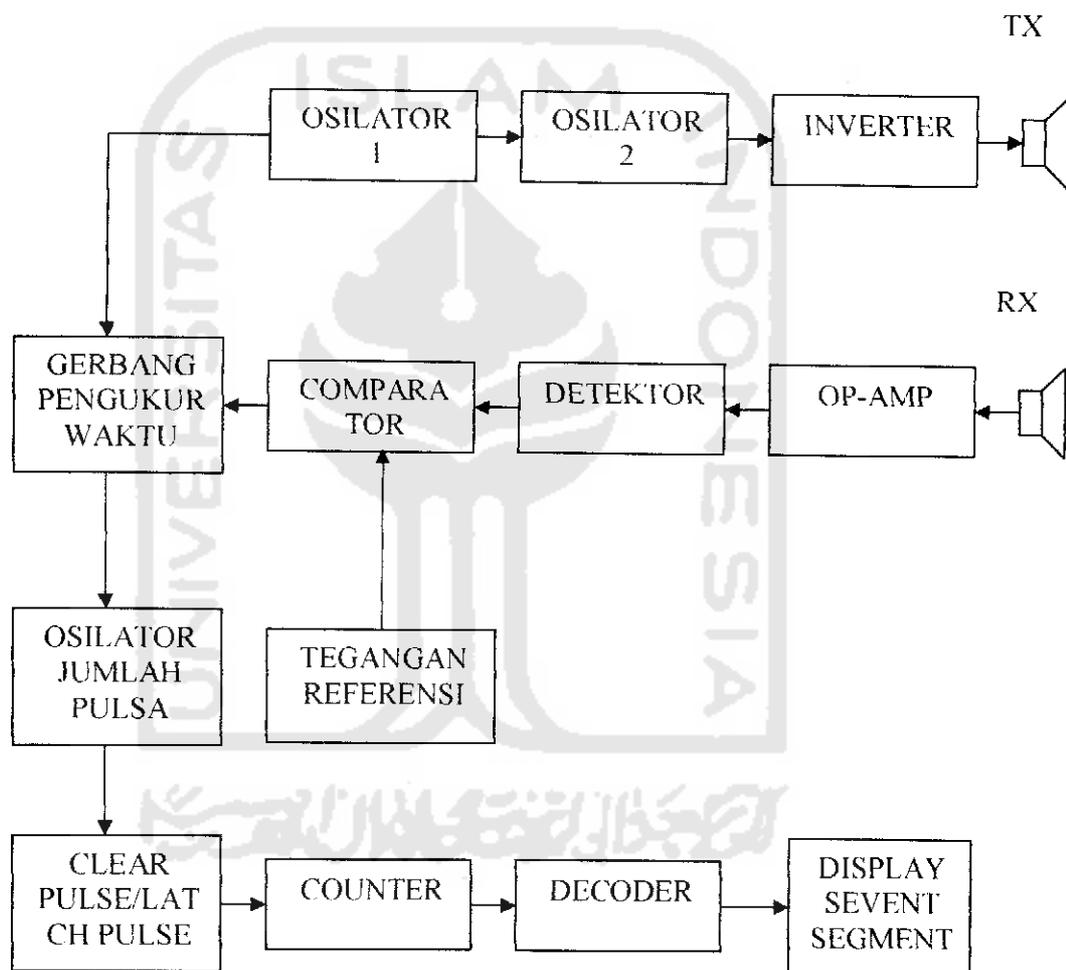
Untuk mendapatkan hasil sinyal modulasi yang optimal maka antara sensor pemancar dan sensor penerima harus diletakkan berdekatan, agar sudut pantulnya kecil sehingga jarak yang terukur tidak terpengaruh oleh sudut pantul tersebut. *Display seven segment* yang dipakai untuk menampilkan hasil pengukuran adalah *type common cathode*, yang dikontrol oleh *IC counter binary coded desimal (BCD)*.

3.2 Prinsip Kerja Sistem

Prinsip kerja sistem ini adalah menembakkan getaran suara sebesar 40 KHz yang dipancarkan oleh sebuah pemancar ultrasonik dan pantulan gelombang ultrasonik diterima pada bagian transmitter ultrasonik. Dengan menghitung perbedaan waktu saat gelombang ultrasonik dikirim dan gelombang pantul diterima, didapat perbandingan lurus dengan jarak antara sensor dengan obyek yang akan diukur. Pengolahan data yang dihasilkan dari pengukuran jarak dalam

rangkaian dapat ditampilkan pada *display seven segment* melalui beberapa IC gerbang logika. Diagram blok prinsip kerja sistem secara umum dapat dilihat pada gambar 3.1.

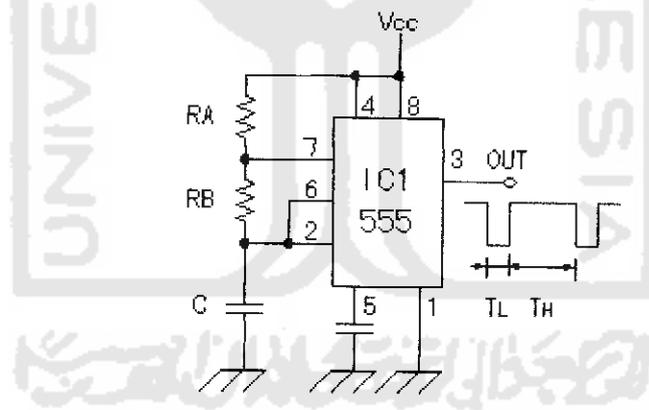
3.3 Diagram Blok Sistem Perancangan Alat.



Gambar 3.1. Diagram blok sistem pembuatan alat ukur jarak digital

3.3.1 Rangkaian *Transmitter*

Rangkaian ini menggunakan digunakan dua buah IC timer LM555 dan sebuah IC *inverter* (pembalik) 4069. IC 1 LM555 adalah rangkaian osilator yang berfungsi sebagai pembangkit gelombang kotak yang mempunyai kondisi *high TH* dan kondisi *low TL*. Besarnya frekuensi osilasi yang didapat bergantung pada nilai resistor R1, resistor R2 dan kapasitor C yang digunakan pada rangkaian. Keluaran pada IC 1 LM555 (kaki ketiga) diumpankan kesebuah pembalik IC 4069. Dengan menggunakan pembalik IC 4069 ini mengakibatkan keluarannya berubah dari keadaan sebelumnya sehingga kondisi *timer high TH* menjadi kondisi *timer low TL* dan sebaliknya, hal tersebut dapat dijelaskan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Rangkaian pembangkit sinyal kotak dengan IC 1 LM555.

Berdasarkan gambar 3.2 maka frekuensi osilasi pulsa dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Timer low } T_L = 0,693 \times R_B \times C'$$

$$= 0,693 \times 10\text{Kohm} \times 0,01\mu\text{f}$$

$$= 0,0693 \text{ ms}$$

$$\text{Timer high } T_H = 0,693 \times (R_A + R_B) \times C'$$

$$= 0,693 \times (8200\text{Kohm} \times 10\text{Kohm}) \times 0,01\mu\text{f}$$

$$= 56,89 \text{ ms}$$

$$f = 1 / (T_H + T_L)$$

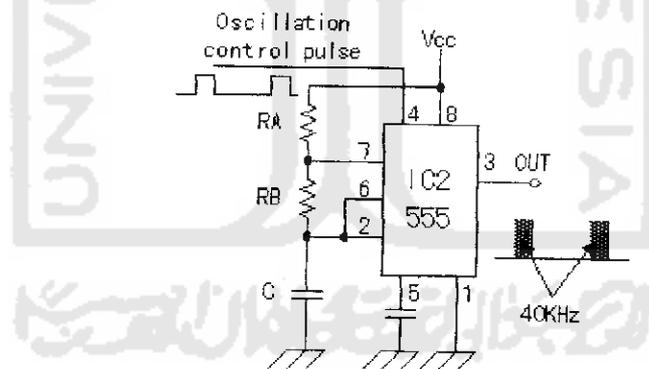
$$= 1 / (56,89 \text{ ms} + 0,0693 \text{ ms})$$

$$= 17,55 \text{ Hz}$$

IC LM555 ini akan terus mengeluarkan pulsa-pulsa kotak dengan frekuensi osilasi tertentu tanpa adanya pemicu dari luar, maka dari itu rangkaian IC LM555 dalam kondisi ini sering disebut sebagai rangkaian *multivibrator astable*. Waktu saat *timer low TL* adalah sebagai gelombang pemodulasi yang akan diisikan pesan berupa pulsa ultrasonik, sedangkan lama waktu *timer high TH* adalah waktu istirahat sampai pulsa ultrasonik diterima kembali.

Sama dengan rangkaian IC 1 LM555, rangkaian IC 2 LM555 merupakan rangkaian pembangkit sinyal untuk membuat frekuensi osilasi pulsa ultrasonik menjadi 40 KHz. Penyesuaian nilai frekuensi osilasi pulsanya sama seperti pada rumus rangkaian IC 1 LM555. Frekuensi osilasi ini harus sama dengan frekuensi resonansi dari spesifikasi sensor ultrasonik yang digunakan. Hal ini merupakan

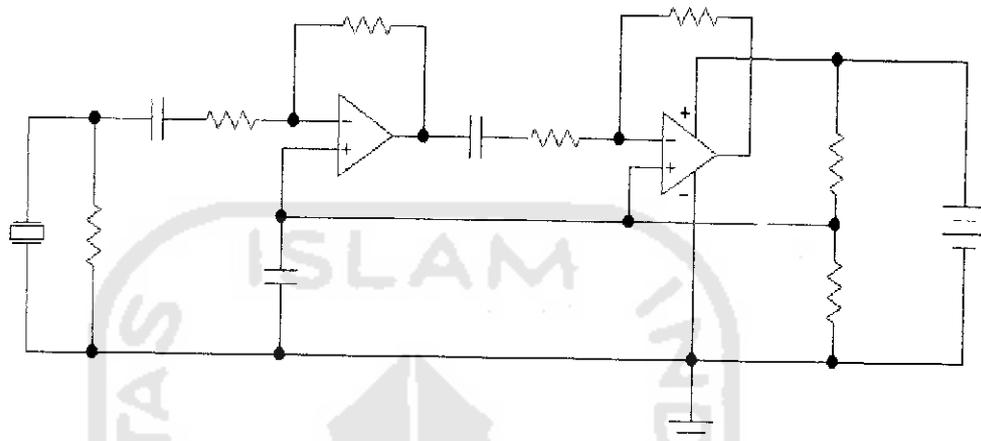
bagian penting sebelum menggunakan sensor ultrasonik. Jika tidak ada kesesuaian antara frekuensi osilasi IC 2 LM555 dengan frekuensi resonansi sensor ultrasonik, maka sensitifitas sensor juga akan berkurang saat mendeteksi jarak terjauh dan terdekat, besarnya frekuensi osilasi yang diperoleh dapat diatur dengan menggunakan VR (*variable resistor*). Penyesuaian frekuensi resonansi sensor dengan frekuensi osilasi dapat dilihat dengan menggunakan osiloskop. Bentuk gelombang yang sesuai tanpa cacat, mengindikasikan kesesuaian frekuensi osilasi dan frekuensi resonansi antara keluaran IC 2 LM555 dan sensor Tx. Kesesuaian ini juga dapat diindikasikan dengan diperolehnya proses modulasi yang terjadi antara gelombang pemodulasi dengan gelombang ultrasonik. Rangkaian yang digunakan pada sistem ini seperti terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Rangkaian pembangkit sinyal dengan frekuensi osilasi 40 KHz

3.3.1 Rangkaian Receiver

Gelombang ultrasonik yang telah ditransmisikan oleh sensor Tx dan diterima oleh sensor penerima Rx, selanjutnya diperkuat dengan *op-amp* yang di *cascade* dua kali. *Op-amp* yang dirancang tanpa *dicascade* mempunyai faktor gangguan terhadap *noisenya* besar, seperti timbulnya osilasi pada bagian out put. Dengan mengkonfigurasi *op-amp* yang *dicascade* dua kali, maka timbulnya osilasi tersebut dapat dikurangi dengan menggunakan R_f (resistor *feedback*) nilai yang sesuai. Pada rangkaian ini digunakan sebuah penguat *inverting* (membalik) untuk memperkuat sinyal ultrasonik yang diterima. Kapasitor C_1 pada rangkaian mempunyai dua fungsi. Pertama, kapasitor ini akan menahan setiap sinyal DC yang datang dari tahapan sebelumnya yang turut diperkuat sehingga rangkaian akan dibawa ke suatu level tegangan DC (bukan nol) yang tak dikehendaki. Keadaan ini dapat menyebabkan penguat masuk ke dalam saturasi dan distorsi ketika diberikan masukan sinyal. Kedua kapasitor tersebut membantu menahan setiap *noise* dari frekuensi rendah yang turut masuk ke dalam penguat, hal tersebut dapat dilihat pada gambar 3.4.



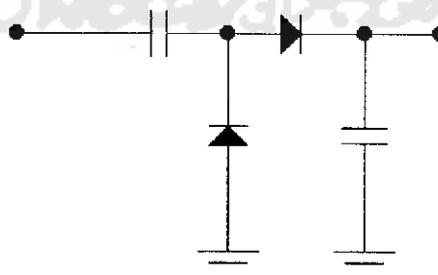
Gambar 3.4. Rangkaian penerima ultrasonik

Stabilitas kerja *op-amp* yang digunakan sebagai penguat umpan balik *inverting* (membalik) berarti menjaganya dari gangguan osilasi, mempertahankan penguatan sesuai dengan rangkaian dan meredam gangguan osilasi rangkaian sampai minimum. Stabilitas rangkaian juga semakin baik dengan pengaturan tata letak rangkaian yang benar. Kaki-kaki komponen diusahakan sependek mungkin atau idealnya rangkaian dihubungkan langsung dengan kawat pendek, karena proses penyambungan kawat yang tidak benar berefek sebagai antena. Hal ini mengakibatkan adanya frekuensi liar yang masuk yang tidak diinginkan. Tegangan catu yang diberikan ke *op-amp* harus dijaga konstan untuk mendapatkan stabilitas yang baik. Sebagian besar kapasitor yang digunakan pada rangkaian *op-amp* akan memblok sinyal DC ke bumi yang ikut masuk ke dalam rangkaian.

Sinyal ultrasonik yang diterima dengan sensor penerima dikuatkan 1000 kali dari tegangan input oleh *op-amp* dengan 2 tingkat keadaan. Keadaan tingkat pertama digunakan resistor R_f (resistor *feedback*) 1Mohm dan R_{in} (resistor *input*) 10 Kohm, maka penguatannya $A_v = R_f / R_{in}$. Sehingga didapat penguatan pertama 100 kali, untuk penguat tingkat dua digunakan resistor R_f 100 Kohm dan R_{in} 10 Kohm maka penguatannya didapat 10 kali. Jika langsung diberikan penguatan sebesar 1000 kali dengan menggunakan *op-amp*, maka besar kemungkinan pada bagian keluaran *op-amp* akan timbul osilasi.

3.3.3 Rangkaian Pendeteksi (*Detector*)

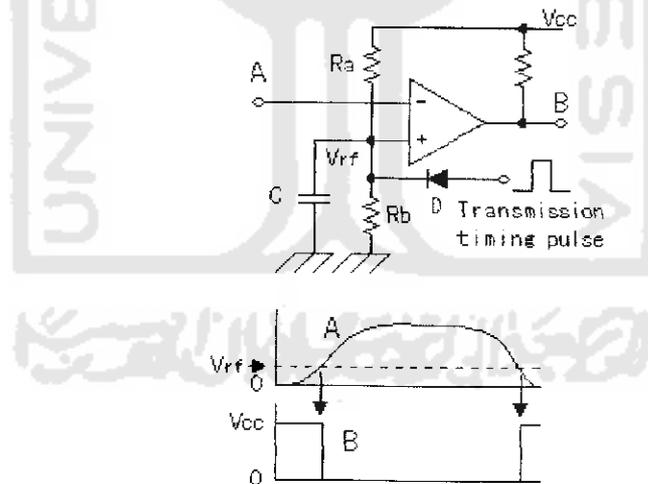
Rangkaian pendeteksi berfungsi untuk mendeteksi sinyal ultrasonik yang diterima. Pendeteksian sinyal ultrasonik yang diterima sama halnya dalam pendeteksian sinyal radio AM (*Amplitudo Modulation*). Dengan menggunakan rangkaian penyearah setengah gelombang (dioda detektor 1N60) seperti dalam Gambar 3.5. Dioda ini berfungsi untuk menyearahkan antara sinyal pemodulasi dengan sinyal ultrasonik, dalam bagian ini terjadi proses demodulasi.



Gambar 3.5. Detektor ultrasonik dengan menggunakan dioda 1N60

3.3.4 Rangkaian pembanding (*Comparator*)

Rangkaian *comparator* berfungsi untuk membandingkan tegangan keluaran dari rangkaian detektor ultrasonik dengan tegangan referensi V_{ref} dari kaki 3 (*non-inverting input*) IC LM358. Tegangan referensi V_{ref} pada kaki 3 (*non-inverting input*) adalah 0,4 V. Keluaran komparator akan mencapai kondisi *high* selalu selama rangkaian detektor ultrasonik tidak menerima adanya sinyal pantulan, kondisi ini juga menjelaskan bahwa tegangan referensi V_{ref} selalu lebih besar. Sebaliknya, keluaran komparator akan mencapai kondisi *low* sesaat saat tegangan keluaran rangkaian detektor ultrasonik lebih besar sedikit dari tegangan referensi V_{ref} . Gambar 3.6 adalah gambar rangkaian IC LM358 yang digunakan sebagai pembanding tegangan.



Gambar 3.6. Rangkaian pembanding (*comparator*)

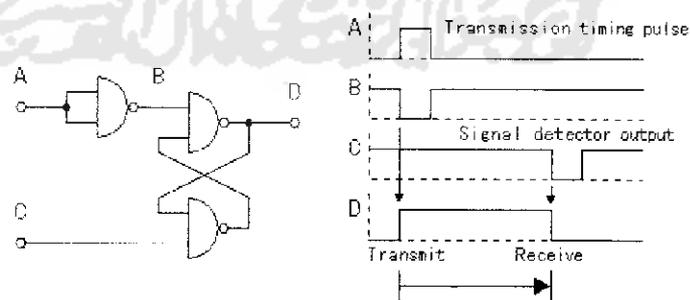
Berdasarkan gambar 3.6, maka tegangan referensi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{ref} &= (R_b \times V_{cc}) / (R_a + R_b) \\
 &= (47 \text{ K}\Omega \times 9\text{V}) / (1\text{M}\Omega + 47\text{K}\Omega) \\
 &= 0,4 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, saat sinyal ultrasonik yang diterima lebih dari 0,4 Volt, keluaran pada detektor sinyal akan menjadi level *low* (kira-kira 0 Volt). Kondisi ini menjelaskan bahwa adanya sinyal pantulan yang diterima oleh sensor dan dideteksi oleh rangkaian detektor ultrasonik.

3.3.5. Rangkaian gerbang pengukur waktu

IC 4011 gerbang NAND yang digunakan dalam alat ini selanjutnya dirangkai menjadi rangkaian gerbang logika *flip-flop*. Dengan mengkonfigurasi setiap gerbang NAND menjadi rangkaian seperti Gambar 3.7, sehingga lama waktu gelombang ultrasonik saat ditransmisikan oleh sensor Tx kemudian diterima kembali oleh sensor Rx dapat diketahui.



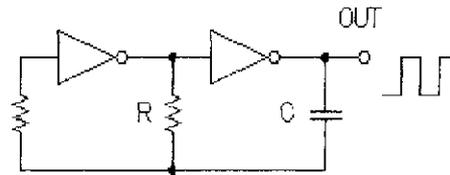
Gambar 3.7. Rangkaian gerbang pengukur waktu

Gambar 3.7 menjelaskan bahwa kondisi *set* adalah saat pulsa ultrasonik melewati pembalik IC 4069 pada rangkaian IC 1 LM555 dalam kondisi *high* sesaat. Kondisi *set* terjadi saat keluaran rangkaian gerbang pengukur waktu dalam gambar 3.7 mencapai kondisi *high* selalu, dalam rangkaian ini pulsa *transmitter* selama kondisi *high* adalah kondisi sesaat untuk mentransmisikan pulsa ultrasonik, kondisi *high* akan berubah menjadi kondisi *low* sampai sinyal ultrasonik diterima.

Kondisi *reset* adalah saat sinyal dideteksi oleh bagian pendeteksi sinyal dan saat output komparator menjadi kondisi *low*, maka keluaran rangkaian gerbang pengukur waktu juga akan *low*. Pulsa-pulsa *clock* dari rangkaian osilator akan terus diberikan ke IC *counter* 4553 saat kondisi *set* hingga kondisi reset. Selanjutnya jumlah pulsa ini akan diberikan ke kaki *clock* IC *counter* 4553 untuk dirubah kedalam 4 digit biner yang dapat diterjemahkan kedalam BCD (*Binary Code Decimal*) oleh IC *decoder* 4511.

3.3.6 Pengukuran Osilator Jumlah Pulsa

Rangkaian ini adalah rangkaian osilasi yang membuat pulsa untuk menghitung jumlah pulsa ultrasonik selama ditransmisikan dan diterima kembali. Penyesuaian jumlah pulsa inilah yang akan ditampilkan pada *display seven segment*. Gambar 3.8 adalah rangkaian osilasi yang menggunakan pembalik CMOS rangkaian ini juga bisa disebut sebagai rangkaian *astable multivibrator* yang dapat menghasilkan pulsa secara terus-menerus tanpa adanya pemicu dari luar.



Gambar 3.8. Rangkaian osilator pengukur jumlah pulsa

Rangkaian osilator jumlah pulsa pada gambar 3.8 mempunyai frekuensi osilasi yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$f = 1 / (2,2 \times C \times R),$$

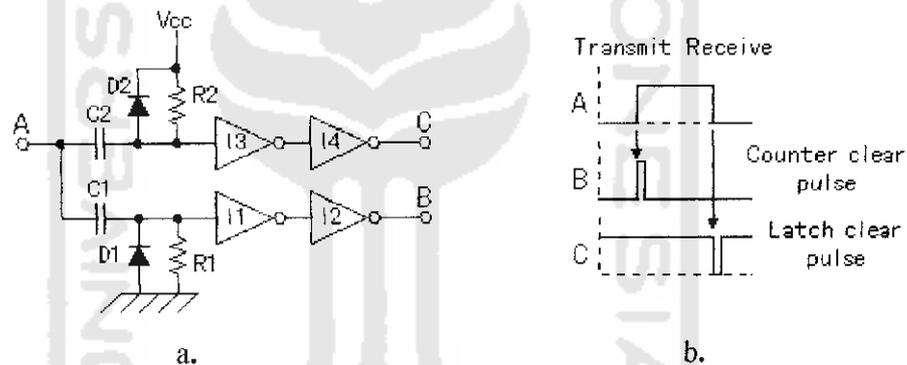
dimana nilai:

$$R = 1 / (2,2 \times C \times f).$$

Karena cepat rambat gelombang suara berubah sesuai dengan perubahan temperatur, maka resistor yang dipakai adalah VR (*Variable Resistor*). Resistor ini berfungsi untuk menyesuaikan nilai yang ditampilkan pada *display seven segment* yang sewaktu-waktu dapat berubah. Maksudnya adalah jika alat diletakkan pada jarak tertentu, tetapi nilai yang ditampilkan tidak menunjukkan jarak yang sebenarnya, maka dapat disesuaikan dengan mengatur nilai resistor tersebut. Jumlah pulsa yang ditampilkan pada rangkaian osilator ini dapat secara langsung dikonversikan ke dalam satuan meter dan centimeter.

3.3.7 Rangkaian Counter Clear Pulse dan Latch Clear Pulse

Rangkaian ini berfungsi untuk membuat *counter clear pulse* dan *latch clear pulse*. *Counter clear pulse* berfungsi untuk meng-counter atau menghitung jumlah keluaran 4 digit biner selama perhitungan jarak. *counter clear pulse* juga berfungsi untuk meng-nol-kan *display seven segment* dan meng-counter kembali saat mulai menghitung pada jarak yang berbeda. *Latch clear pulse* menahan angka pada *display seven segment* saat sensor mendeteksi jarak, dengan posisi alat tidak berubah.



Gambar 3.9.(a) rangkaian *counter clear pulse* dan *latch clear pulse*

(b) proses pembentukan sinyal

Gambar 3.9 menjelaskan bahwa saat titik A berubah ke dalam level *high* dari level *low* saat mulai mengirim pulsa ultrasonik dari pulsa transmit IC LM555 setelah melewati pembalik, selama perubahan ini muatan listrik mulai disimpan ke kapasitor C1, sinyal yang telah didiferensiasi oleh C1 dan R1 diberikan ke pembalik pertama (bawah) dan *counter clear pulse* dihasilkan oleh output (titik B)

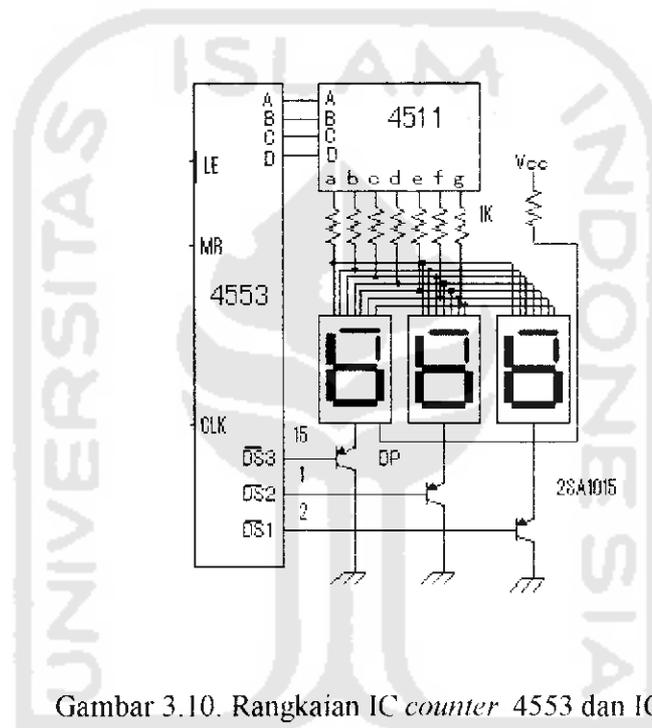
pada pembalik berikutnya kedua. Pengosongan oleh muatan listrik yang telah disimpan dalam C2 dalam waktu yang sama dialirkan melalui D2, masukan pembalik ketiga adalah level *high* dan keluaran (titik C) pada pembalik keempat tidak berubah. Selanjutnya saat sinyal ultrasonik diterima oleh sensor penerima, titik A berubah menjadi level *low* dari level *high*. Muatan listrik mulai disimpan ke dalam C2 selama perubahan ini. Sinyal yang telah didiferensiasikan oleh C2 dan R2 diberikan ke pembalik ketiga dan *latch clear pulse* dihasilkan pada keluaran (titik C) pembalik keempat. Pengosongan muatan listrik yang telah disimpan pada C1 selama perubahan ini dilewati melalui D1, masukan pembalik pertama adalah sebagai level *low* dan keluaran (titik B) pembalik kedua tidak berubah.

3.3.8 Rangkaian IC Counter 4553 dan IC Decoder 4511

IC counter BCD 3 digit (4553) digunakan untuk menghitung jumlah pulsa ultrasonik dengan waktu yang telah ditentukan dari keluaran rangkaian pengukur waktu. *Reset* pada counter 4553 dan inialisasi *display* awal dilakukan saat *master* (MR) menjadi level *High*. Pada rangkaian ini, *counter clear pulse* diberikan ke *master reset* (MR) dan akan meng-clear-kan saat mulai mengukur. Pengukuran pulsa diberikan ke *clock*. *Counter up* (penjumlahan keatas) dilakukan saat jatuhnya pulsa. Pengukuran pulsa diberikan ke terminal *clock* hanya pada saat keluaran rangkaian pengukur waktu dalam kondisi *high* dari gerbang NAND.

Transistor PNP 2SA1015 pada IC counter 4533 berfungsi sebagai penguat untuk menyalakan *sevent segment* LED. Perlu diketahui bahwa kaki No. 1,2 dan

15. IC *counter* 4533 hanya mampu mengeluarkan arus sebesar 4 mA, sementara LED perlu paling tidak 20 mA, jika hal ini dilakukan tanpa penguat, maka IC akan rusak karena *overload*. Gambar 3.10 adalah rangkaian *counter* dan *decoder* sebagai penampil untuk *seven segment*.



Gambar 3.10. Rangkaian IC *counter* 4553 dan IC *decoder* 4511